

Original document

SURFACE LIGHT-EMITTING ELEMENT, ITS MANUFACTURING METHOD, ITS MOUNTING STRUCTURE, OPTICAL MODULE AND OPTICAL TRANSMITTING ELEMENT

Publication number: JP2004014993

Publication date: 2004-01-15

Inventor: KANEKO TAKESHI

Applicant: SEIKO EPSON CORP

Classification:

- international: **H01L33/00; H01S5/022; H01S5/042; H01S5/183; H01L33/00; H01S5/00;** (IPC1-7): H01S5/042; H01L33/00; H01S5/022; H01S5/183

- European:

Application number: JP20020170055 20020611

Priority number(s): JP20020170055 20020611

[View INPADOC patent family](#)

[View list of citing documents](#)

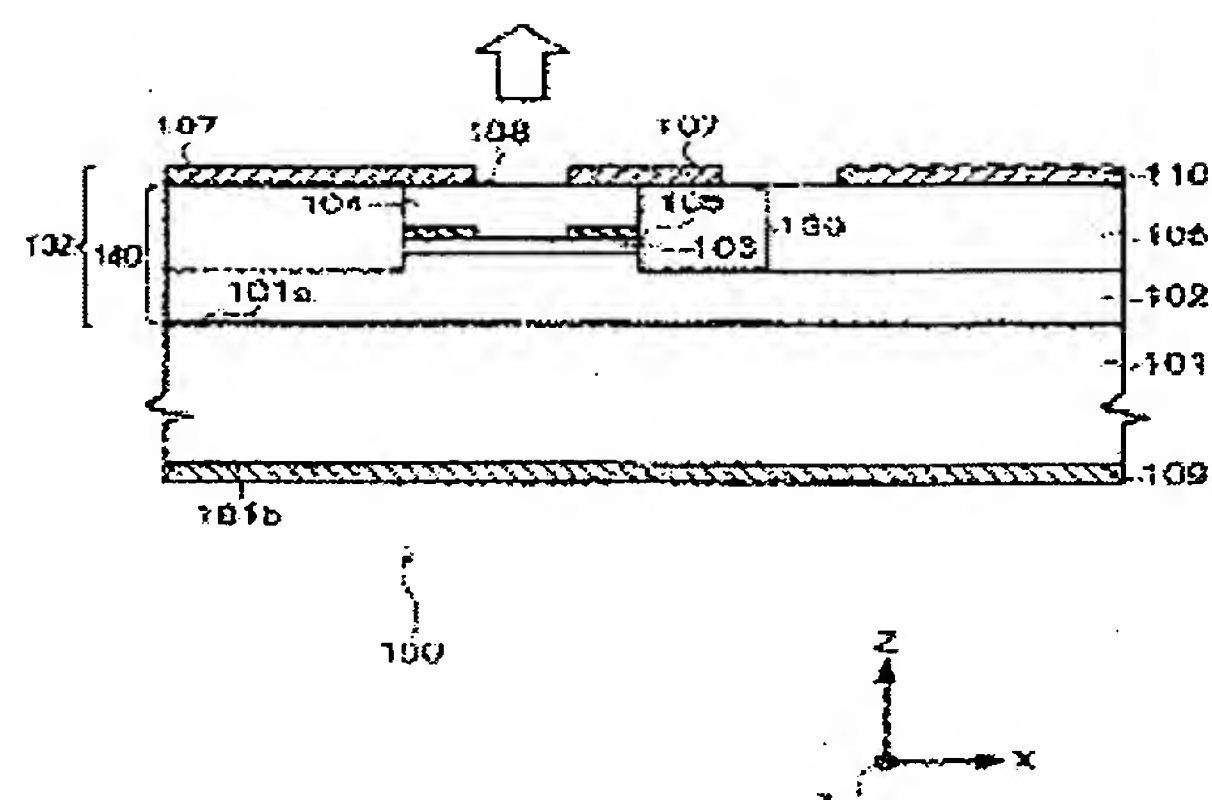
[Report a data error here](#)

Abstract of JP2004014993

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a surface light-emitting element allowing bumps to be easily formed and having a satisfactory yield, its manufacturing method, a mounting structure of the surface light-emitting element, an optical module and an optical transmitting element comprising the surface light-emitting element.

SOLUTION: The surface light-emitting element 100 of this invention comprises a light-emitting element part 132 that is formed on a compound semiconductor substrate 101 and is capable of emitting light in a vertical direction to the compound semiconductor substrate 101. This surface light-emitting element 100 comprises at least one pad, and the center line mean roughness of profile (Ra) of the surface of the pad is 5.0×10^{-3} [μm] or above.

COPYRIGHT: (C)2004,JPO



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-14993

(P2004-14993A)

(43) 公開日 平成16年1月15日(2004.1.15)

(51) Int.Cl. ⁷	F 1	テーマコード (参考)
HO1S 5/042	HO1S 5/042 612	5FO41
HO1L 33/00	HO1L 33/00 E	5FO73
HO1S 5/022	HO1L 33/00 N	
HO1S 5/183	HO1S 5/022	
	HO1S 5/183	

審査請求 未請求 請求項の数 21 O L (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2002-170055 (P2002-170055)
(22) 出願日 平成14年6月11日 (2002.6.11)

(71) 出願人 000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(74) 代理人 100090479
弁理士 井上 一
(74) 代理人 100090387
弁理士 布施 行夫
(74) 代理人 100090398
弁理士 大淵 美千栄
(72) 発明者 金子 剛
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

最終頁に続く

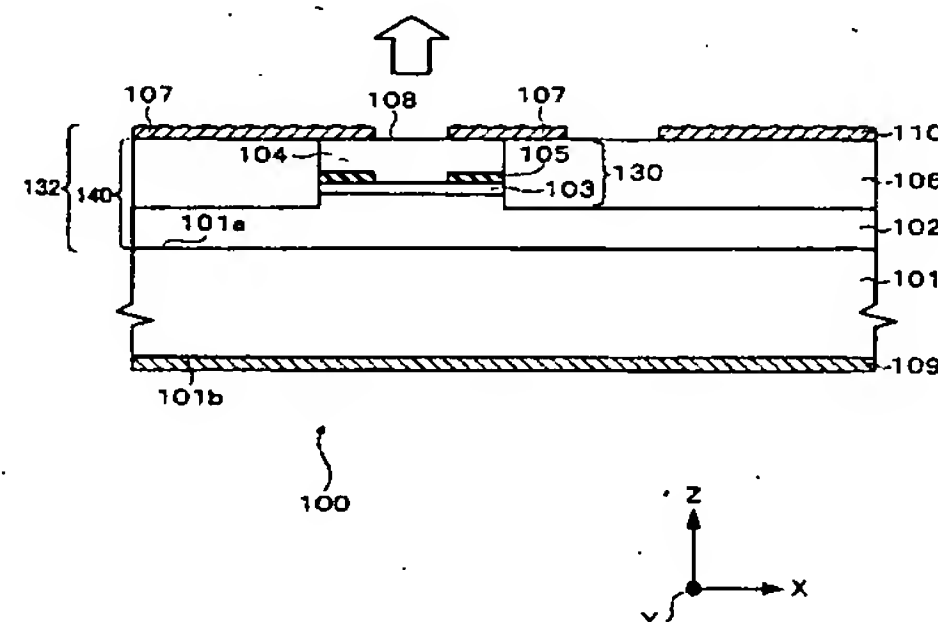
(54) 【発明の名称】 面発光型発光素子およびその製造方法、面発光型発光素子の実装構造、光モジュール、光伝達装置

(57) 【要約】

【課題】 パンプが容易に形成可能であり、かつ、歩留まりが良好な面発光型発光素子およびその製造方法、該面発光型発光素子の実装構造、ならびに該面発光型発光素子を含む光モジュールおよび光伝達装置を提供する。

【解決手段】 本発明の面発光型発光素子100は、化合物半導体基板101上に形成された発光素子部132を含み、化合物半導体基板101と垂直方向に光を出射する。この面発光型発光素子100は、少なくとも1つのパッドを含み、前記パッドの表面の中心線平均粗さ(Ra)が $5.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】

化合物半導体基板上に形成された発光素子部を含み、該基板と垂直方向に光を出射する面発光型発光素子であって、
少なくとも1つのパッドを含み、
前記パッドの表面の中心線平均粗さ(Ra)が、 $5.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上である、面発光型発光素子。

【請求項2】

請求項1において、
前記パッドを複数個含み、
前記複数個のパッドのうち少なくとも1つが、前記発光素子部に電流を注入するための電極である、面発光型発光素子。

10

【請求項3】

請求項2において、
前記複数個のパッドのうち少なくとも2つが同一面上に形成されている、面発光型発光素子。

【請求項4】

請求項2または3において、
前記複数個のパッドのうち2つが、前記発光素子部に電流を注入するための一対の電極であり、
前記一対の電極を構成する前記2つのパッドはいずれも、前記化合物半導体基板表面の上方に設置されている、面発光型発光素子。

20

【請求項5】

請求項1ないし4のいずれかにおいて、
前記パッドの少なくとも一部が絶縁層上に形成されている、面発光型発光素子。

【請求項6】

請求項5において、
前記絶縁層は、ポリイミド樹脂からなる、面発光型発光素子。

【請求項7】

請求項1ないし6のいずれかにおいて、
前記パッドの最表面が金で形成されている、面発光型発光素子。

30

【請求項8】

請求項1ないし7のいずれかにおいて、
前記化合物半導体基板の裏面から光が出射する、面発光型発光素子。

【請求項9】

請求項1ないし8のいずれかにおいて、
前記面発光型発光素子は、面発光型半導体レーザである、面発光型発光素子。

【請求項10】

請求項9において、
前記面発光型半導体レーザの前記発光素子部は、少なくとも一部に柱状部が形成された共振器と、前記柱状部の側面を覆う絶縁層と、を含み、
前記面発光型半導体レーザはさらに、前記パッドを複数個含み、該複数個のパッドのうち少なくとも1つが前記電極であり、
前記電極の少なくとも一部が、前記絶縁層の上に形成されている、面発光型発光素子。

40

【請求項11】

請求項10において、
前記複数個のパッドのうち2つが、前記発光素子部に電流を注入するための一対の電極であり、
前記一対の電極を構成する2つのパッドの少なくとも一部が、前記絶縁層の上に形成されている、面発光型発光素子。

50

【請求項 1 2】

請求項 1 ないし 8 のいずれかにおいて、

前記面発光型発光素子は、半導体発光ダイオードである、面発光型発光素子。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 において、

前記半導体発光ダイオードに含まれる前記発光素子部は、少なくとも一部に活性層を含む柱状部と、前記柱状部の側面を覆う絶縁層と、を含み、

前記半導体発光ダイオードはさらに、前記パッドを複数個含み、該複数個のパッドのうち少なくとも 1 つが前記電極であり、

前記電極の少なくとも一部が、前記絶縁層の上に形成されている、面発光型発光素子。

10

【請求項 1 4】

請求項 1 ないし 1 3 のいずれかに記載の面発光型発光素子と、接続用パッドが形成された基板と、該基板と前記面発光型発光素子とを電氣的に接続するパンプと、を含む、面発光型発光素子の実装構造。

【請求項 1 5】

請求項 1 4 において、

前記接続用パッドが形成された基板にはさらに電子回路が搭載され、

前記電子回路は、前記面発光型発光素子を駆動させるためあるいは前記面発光型発光素子へ信号を送るために設置されている、面発光型発光素子の実装構造。

【請求項 1 6】

20

請求項 1 4 または 1 5 において、

前記パンプは金からなる、面発光型発光素子の実装構造。

【請求項 1 7】

請求項 1 ないし 1 3 のいずれかに記載の面発光型発光素子と、光導波路とを含む、光モジュール。

【請求項 1 8】

請求項 1 7 に記載の光モジュールを含む、光伝達装置。

【請求項 1 9】

化合物半導体基板上に形成された発光素子部を含み、該基板と垂直方向に光を出射できる面発光型発光素子の製造方法であって、

30

(a) 前記基板上に前記発光素子部を形成し、

(b) 少なくとも 1 つのパッドを形成し、

(c) 前記パッドに対して表面処理を行なうことにより、該パッド表面の中心線平均粗さ (Ra) を $5.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上にすること、を含む、面発光型発光素子の製造方法。

【請求項 2 0】

請求項 1 9 において、

前記 (c) において、前記表面処理は、前記パッドに対するプラズマまたはイオンビームの照射である、面発光型発光素子の製造方法。

【請求項 2 1】

40

請求項 1 9 において、

前記 (c) において、前記表面処理は、前記パッドに対するウェット処理である、面発光型発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、面発光型発光素子およびその製造方法、該面発光型発光素子の実装構造、ならびに該面発光型発光素子を含む光モジュールおよび光伝達装置に関する。

【0002】

【背景技術】

50

面発光型半導体レーザに代表される面発光型発光素子は、光通信や光演算、および各種センサの光源として大いに期待されている。この面発光型発光素子は、基板と垂直方向に光を出射するという特徴を有する。この特徴を生かして、例えば特開平7-283486号公報には、はんだパンフを用いて他の基板と面発光型半導体レーザとを直接接合する方法が開示されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

一般に、面発光型発光素子に設けられた金属パッド上にパンフを形成する場合、一定の過重をかけながら超音波を印加して接合する。多くの面発光型発光素子は、化合物半導体基板上に化合物半導体層が積層されて構成されている。しかしながら、化合物半導体基板は一般に、シリコン基板やサファイア基板と比較して強度が小さい。したがって、このような素子に設けられたパッド上にパンフを形成する場合、化合物半導体基板に印加される過重および超音波によって、前記基板にひびわれが生じる場合がある。一方、化合物半導体基板にこのような損傷が生じるのを回避するために、パンフ形成時に前記基板に印加される過重および超音波を小さくした場合、パンフがパッドに十分に密着しないという問題が生じる場合がある。

【0004】

本発明の目的は、パンフが容易に形成可能であり、かつ、歩留まりが良好な面発光型発光素子およびその製造方法を提供することにある。

【0005】

また、本発明の目的は、前記面発光型発光素子の実装構造を提供することにある。

【0006】

さらに、本発明の目的は、前記面発光型発光素子を含む光モジュールおよび光伝達装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

(面発光型発光素子)

本発明の面発光型発光素子は、化合物半導体基板上に形成された発光素子部を含み、該基板と垂直方向に光を出射できる面発光型発光素子であって、少なくとも1つのパッドを含み、前記パッドの表面の中心線平均粗さ(Ra)が、 $5.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上である。

【0008】

ここで、「パッドの表面の中心線平均粗さ(arithmetic average roughness)」とは、前記パッドの表面において、設定した所定の中心線を基準に、ポイントする任意箇所(測定箇所)について基準からの高低差(絶対値)を測定し、その高低差の和を測定箇所の数で割った値をいう。

【0009】

前記パッドの表面の中心線平均粗さRaが $5.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 未満である場合、前記パッド上にパンフを形成する場合、前記パッドの表面と前記パンフとの接合に有効に寄与する面積が少ないため、十分な接合強度を確保できなくなる場合がある。

【0010】

これに対し、前記パッドの表面の中心線平均粗さRaが $5.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上である場合、前記パンフ電極と前記パンフとの接合部において、良好な接合状態を確保するために十分な接合面積が得られる。このため、前記接合部において十分な接合強度を確保することができる。

【0011】

本発明の面発光型発光素子によれば、前記パッド上にパンフを形成する際に、該パンフと該パッドとの接触面積を確保することができ、該パッドの表面の粗さによって、該パッド上に該パンフを固定させることができる。以上により、前記パッドと前記パンフと

10

20

30

40

50

の密着性を高めることができる。したがって、前記パンプ形成時に前記パッドに加わる負荷を少なくすることができる結果、前記化合物半導体基板に加わる負荷を緩和することができる。

【0012】

本発明の面発光型発光素子は、以下の態様(1)～(6)をとることができる。

【0013】

(1) 前記パッドを複数個含み、前記複数個のパッドのうち少なくとも1つが、前記発光素子部に電流を注入するための電極であることができる。この構成によれば、前記電極である前記パッド上に前記パンプを接続させる場合、該パッドと該パンプとの密着性を高めることができるため、接触抵抗の低減を図ることができる。

10

【0014】

この場合、前記複数個のパッドのうち少なくとも2つが同一面上に形成できる。このように、同一面上に複数のパッドが形成されていることにより、安定した実装が可能になる。また、この場合、前記複数個のパッドのうち2つが、前記発光素子部に電流を注入するための一対の電極であり、前記一対の電極を構成する前記2つのパッドはいずれも、前記化合物半導体基板表面の上方に設置できる。ここで、「前記化合物半導体基板表面の上方に設置」とは、前記化合物半導体基板表面上に直接設置する場合だけでなく、前記化合物半導体基板表面上に他の層を介して設置されている場合を含む。また、「前記化合物半導体基板表面」とは、前記化合物半導体基板において前記発光素子部が形成されている面をいう。この構成によれば、ワイヤ等を介さずに素子を駆動させることができ、いわゆるフェイスダウン構造の実装を達成することができる。

20

【0015】

(2) 前記パッドの少なくとも一部を絶縁層上に形成できる。この場合、前記絶縁層は、ポリイミド樹脂からなることができる。

【0016】

(3) 前記パッドの最表面を金で形成することができる。これにより、自然酸化膜の影響を極力抑えることができる。

【0017】

(4) 前記化合物半導体基板の裏面から光が出射することができる。ここで、「前記化合物半導体基板の裏面」とは、前記化合物半導体基板の表面と反対側の面をいう。

30

【0018】

(5) 前記面発光型発光素子は、面発光型半導体レーザであることができる。

【0019】

この場合、前記面発光型半導体レーザの前記発光素子部は、少なくとも一部に柱状部が形成された共振器と、前記柱状部の側面を覆う絶縁層と、を含み、前記面発光型半導体レーザはさらに、前記パッドを複数個含み、該複数個のパッドのうち少なくとも1つが前記電極であり、前記電極の少なくとも一部を、前記絶縁層の上に形成できる。

【0020】

また、この場合、前記複数個のパッドのうち2つが、前記発光素子部に電流を注入するための一対の電極であり、前記一対の電極を構成する2つのパッドの少なくとも一部を、前記絶縁層の上に形成できる。

40

【0021】

(6) 前記面発光型発光素子は、半導体発光ダイオードであることができる。

【0022】

この場合、前記半導体発光ダイオードに含まれる前記発光素子部は、少なくとも一部に活性層を含む柱状部と、前記柱状部の側面を覆う絶縁層と、を含み、前記半導体発光ダイオードはさらに、前記パッドを複数個含み、該複数個のパッドのうち少なくとも1つが前記電極であり、前記電極の少なくとも一部を、前記絶縁層の上に形成できる。

50

【0023】

(面発光型発光素子の製造方法)

本発明の面発光型発光素子の製造方法は、化合物半導体基板上に形成された発光素子部を含み、該基板と垂直方向に光を出射できる面発光型発光素子の製造方法であって、

(a) 前記基板上に前記発光素子部を形成し、

(b) 少なくとも1つのパッドを形成し、

(c) 前記パッドに対して表面処理を行なうことにより、該パッド表面の中心線平均粗さ(Ra)を $5.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上にすること、を含む。

【0024】

本発明の面発光型発光素子の製造方法によれば、前記パッド上にパンプを形成する場合、前記パッドと前記パッドとの密着性を高めることができる。

10

【0025】

この場合、前記(c)において、前記表面処理は、前記パッドに対するプラズマまたはイオンビームの照射であることができる。あるいは、前記(c)において、前記表面処理は、前記パッドに対するウエット処理であることができる。この方法によれば、前記化合物半導体基板に損傷を与えることなく、前記パッドの表面を粗くすることができる。

【0026】

(面発光型発光素子の実装構造)

本発明の面発光型発光素子の実装構造は、前述した本発明の面発光型発光素子と、接続用パッドが形成された基板と、該基板と前記面発光型発光素子とを電氣的に接続するパンプと、を含む。

20

【0027】

この場合、前記接続用パッドが形成された基板にはさらに、電子回路が搭載させることができる。この電子回路は、前記面発光型発光素子を駆動させるため、あるいは前記面発光型発光素子へ信号を送るために設置される。

【0028】

また、この場合、前記パンプは金からなることができる。

【0029】

(光モジュールおよび光伝達装置)

本発明の面発光型発光素子と、光導波路とを含む光モジュールに適用することができる。また、前記光モジュールを含む光伝達装置に適用することができる。

30

【0030】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の好適な実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0031】

[第1の実施の形態]

(デバイスの構造)

図1は、本発明を適用した第1の実施の形態に係る面発光型発光素子100を模式的に示す断面図である。図2は、本発明を適用した第1の実施の形態に係る面発光型発光素子100を模式的に示す平面図である。図1は、図2のA-A線における断面を示す図である。なお、本実施の形態においては、面発光型発光素子として面発光型半導体レーザを用いた場合について説明する。この場合、より高速駆動が可能な面発光レーザの特徴を生かすことができる。

40

【0032】

本実施の形態の面発光型発光素子100は、図1に示すように、化合物半導体基板(本実施形態ではn型GaAs基板)101と、化合物半導体基板101上に形成された発光素子部102とを含む。

【0033】

この面発光型発光素子100においては、図1に示すように、化合物半導体基板101の表面101aの上方に、第1電極107およびパッド110の2つのパッドが形成されて

50

いる。ここで、「化合物半導体基板101の表面101a」とは、化合物半導体基板101において発光素子部が形成されている面をいう。

【0034】

第1電極107およびパッド110の表面の中心線粗さRaは $5.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上であることが望ましく、 $9.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上であることがより望ましい。Raが $5.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 未満であると、第1電極107またはパッド110上にパンプを形成する場合、パンプとの密着性が十分得られないため、パッド110上にパンプを設置することができない場合がある。また、Raが $9.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上であれば、シェア強度（後述する）がより改善され、パンプとパッド110との間においてより強固な密着性が得られる。

10

【0035】

第1電極107およびパッド110は同じ材質から形成することができる。例えば、第1電極107およびパッド110の最表面を金で形成することができる。この場合、第1電極107やパッド110の上に、金からなるパンプを形成することにより、これらのパッドと前記パンプとの密着性を高めることができる。また、この構成によれば、第1電極107およびパッド110の最表面が金で形成されていることにより、自然酸化膜の影響を極力抑えることができ、より強固な密着性を確保することができる。

【0036】

また、第1電極107は、後述する第2電極109とともに、面発光型発光素子100に電流を注入する機能を有する。

20

【0037】

次に、この面発光型発光素子100の各構成要素について説明する。

【0038】

発光素子部132は、化合物半導体基板101上に形成された垂直共振器（以下「共振器」とする）140を含む。この共振器140は柱状の半導体堆積体（以下「柱状部」とする）130を含み、柱状部130の側面は絶縁層106で覆われている。

【0039】

共振器140には柱状部130が形成されている。ここで、柱状部130とは、共振器140の一部であって、少なくとも上部ミラー104を含む柱状の半導体堆積体をいう。この柱状部130は絶縁層106で埋め込まれている。すなわち、柱状部130の側面は絶縁層106で取り囲まれている。さらに、柱状部130上には第1電極107が形成されている。

30

【0040】

共振器140は、例えば、n型Al_{0.9}Ga_{0.1}As層とn型Al_{0.15}Ga_{0.85}As層とを交互に積層した40ペアの分布反射型多層膜ミラー（以下、「下部ミラー」という）102、GaAsウエル層とAl_{0.3}Ga_{0.7}Asバリア層からなり、ウエル層が8層で構成される量子井戸構造を含む活性層103、およびp型Al_{0.9}Ga_{0.1}As層とp型Al_{0.15}Ga_{0.85}As層とを交互に積層した25ペアの分布反射型多層膜ミラー（以下、「上部ミラー」という）104が順次積層されて構成されている。なお、下部ミラー102、活性層103、および上部ミラー104を構成する各層の組成および層数はこれに限定されるわけではない。

40

【0041】

上部ミラー104は、例えばCがドーピングされることによりp型にされ、下部ミラー102は、例えばSiがドーピングされることによりn型にされている。したがって、上部ミラー104、不純物がドーピングされていない活性層103、および下部ミラー102により、p-i-nダイオードが形成される。

【0042】

また、共振器140のうち面発光型発光素子100のレーザ光出射側から下部ミラー102の途中にかけての部分が、レーザ光出射側から見て円形の形状にエッチングされて柱状部130が形成されている。なお、本実施の形態では、柱状部130の平面形状を円

50

形としたが、この形状は任意の形状をとることが可能である。

【0043】

さらに、上部ミラー104を構成する層のうち活性層103に近い領域に、酸化アルミニウムからなる電流狭窄層105を形成することができる。この電流狭窄層105は、リング状に形成されている。すなわち、この電流狭窄層105は、図1におけるX-Y平面に平行な面で切断した場合における断面が同心円状である形状を有する。

【0044】

また、本実施の形態に係る面発光型発光素子100においては、柱状部130の側面ならびに下部ミラー102の上面を覆うようにして、絶縁層106が形成されている。

【0045】

この面発光型発光素子100の製造工程においては、柱状部130の側面を覆う絶縁層106を形成した後、柱状部130の上面および絶縁層106の上面に第1電極107を、化合物半導体基板101の裏面（化合物半導体基板101において発光素子部132が形成されている面と反対側の面）に第2電極109を、それぞれ形成する。これらの電極形成の際には一般的に、アニール処理を約400℃で行なう（後述する製造プロセスを参照）。したがって、樹脂を用いて絶縁層106を形成する場合、このアニール処理工程に耐え得るためには、絶縁層106を構成する樹脂は耐熱性に優れたものであることが必要とされる。この要求を満たすためには、絶縁層106を構成する樹脂がポリイミド樹脂、フッ素系樹脂、アクリル樹脂、またはエポキシ樹脂等であることが望ましく、特に、加工の容易性や絶縁性の観点から、ポリイミド樹脂であるのが望ましい。

【0046】

柱状部130および絶縁層106の上には、第1電極107が形成されている。また、図1および図2に示すように、絶縁層106にはパッド110を形成することができる。第1電極107は、例えばAuとZnの合金とAuとの積層膜から形成することができる。また、このパッド110は、第1電極107と同じ材質で形成することができる。

【0047】

柱状部130上面の中央部には、第1電極107が形成されていない部分（開口部）が設けられている。この部分が出射面108である。この出射面108がレーザー光の出射口となる。すなわち、柱状部130の上面のうち第1電極107で覆われていない部分が出射面108に相当する。

【0048】

さらに、化合物半導体基板101の裏面には、第2電極109が形成されている。すなわち、図1に示す面発光型発光素子100では、柱状部130上で第1電極107と接合し、かつ、化合物半導体基板101の裏面で第2電極109と接合している。この第1電極107および第2電極109によって活性層103に電流が注入される。第2電極109は、例えばAuとGeの合金とAuとの積層膜から形成することができる。

【0049】

（デバイスの動作）

本実施の形態の面発光型発光素子100の一般的な動作を以下に示す。なお、下記の面発光型半導体レーザーの駆動方法は一例であり、本発明の趣旨を逸脱しない限り、種々の変更が可能である。

【0050】

まず、第1電極107と第2電極109とで、Pinダイオードに順方向の電圧を印加すると、活性層103において、電子と正孔との再結合が起こり、係る再結合による発光が生じる。そこで生じた光が上部ミラー104と下部ミラー102との間を往復する際に誘導放出が起こり、光の強度が増幅される。光利得が光損失を上まわると、レーザー発振が起こり、柱状部130上面にある出射面108から、化合物半導体基板101に対して垂直方向（図1に示すZ方向）にレーザー光が出射される。ここで、「化合物半導体基板101に対して垂直方向」とは、化合物半導体基板101の表面101a（図1ではX-Y平面と平行な面）に対して垂直な方向（図1ではZ方向）をいう。

10

20

30

40

50

【0051】

(デバイスの製造プロセス)

次に、本発明を適用した第1の実施の形態に係る面発光型発光素子100の製造方法の一例について、図3～図8を用いて説明する。図3～図8は、図1および図2に示す本実施の形態の面発光型発光素子100の一製造工程を模式的に示す断面図であり、それぞれ図1に示す断面に対応している。

【0052】

(1) まず、 n 型GaAsからなる化合物半導体基板101の表面に、組成を変調させながらエピタキシャル成長させることにより、図3に示すように、半導体多層膜150を形成する。ここで、半導体多層膜150は例えば、 n 型 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 層と n 型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ 層とを交互に積層した40ペアの下部ミラー102、GaAsウエル層と $Al_{0.8}Ga_{0.2}As$ バリア層からなり、ウエル層が3層で構成される量子井戸構造を含む活性層103、および p 型 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 層と p 型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ 層とを交互に積層した25ペアの上部ミラー104からなる。これらの層を順に化合物半導体基板101上に堆積させることにより、半導体多層膜150が形成される。なお、上部ミラー104を成長させる際に、活性層近傍の少なくとも1層を、 $AlAs$ 層または Al 組成が0.95以上の $AlGaAs$ 層(Al 組成が高い層)に形成する。この層は後に酸化され、電流狭窄層105となる。また、上部ミラー104の最表面の層は、キャリア密度を高くし、電極(後述する第1電極107)とのオーミック接触をとりやすくしておくのが望ましい。

【0053】

エピタキシャル成長を行なう際の温度は、成長方法や原料、化合物半導体基板101の種類、あるいは形成する半導体多層膜150の種類、厚さ、およびキャリア密度によって適宜決定されるが、一般に、 $450^{\circ}C \sim 800^{\circ}C$ であるのが好ましい。また、エピタキシャル成長を行なう際の所要時間も、温度と同様に適宜決定される。また、エピタキシャル成長させる方法としては、有機金属気相成長(MOVPE: Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy)法や、MBE法(Molecular Beam Epitaxy)法、あるいはLPE法(Liquid Phase Epitaxy)を用いることができる。

【0054】

続いて、半導体多層膜150上に、フォトレジスト(図示しない)を塗布した後フォトリソグラフィ法により該フォトレジストをパターンニングすることにより、所定のパターンのレジスト層R100を形成する。ついで、このレジスト層R100をマスクとして、例えばドライエッチング法により、上部ミラー104、活性層103、および下部ミラー102の一部をエッチングして、図4に示すように、柱状の半導体堆積体(柱状部)130を形成する。以上の工程により、図4に示すように、化合物半導体基板101上に、柱状部130を含む共振器140が形成される。その後、レジスト層R100を除去する。

【0055】

続いて、図5に示すように、例えば $400^{\circ}C$ 程度の水蒸気雰囲気中に、上記工程によって共振器140が形成された化合物半導体基板101を投入することにより、前述の上部ミラー104中の Al 組成が高い層を側面から酸化して、電流狭窄層105を形成することが可能である。酸化レートは、炉の温度、水蒸気の供給量、酸化すべき層(前記 Al 組成が高い層)の Al 組成および膜厚に依存する。酸化により形成される電流狭窄層を備えた面発光レーザでは、駆動する際に、電流狭窄層が形成されていない部分(酸化されていない部分)のみに電流が流れる。したがって、酸化によって電流狭窄層を形成する工程において、形成する電流狭窄層105の範囲を制御することにより、電流密度の制御が可能となる。

【0056】

以上の工程により、面発光型発光素子100のうち、発光素子として機能する部分(出射面108および電極107、109を除く)が形成される。

【0057】

(2) 次いで、柱状部130を取り囲む絶縁層106を形成する。ここでは、絶縁層106を形成するための材料として、ポリイミド樹脂を用いた場合について説明する。まず、例えばスピンコート法を用いて、樹脂前駆体（ポリイミド前駆体）を共振器140上に塗布して、樹脂前駆体層（図示せず）を形成する。この際、樹脂前駆体層の膜厚が柱状部130の高さより大きくなるように形成する。なお、前記樹脂前駆体層の形成方法としては、前述したスピンコート法のほか、ディッピング法、スプレーコート法、インクジェット法等の公知技術が利用できる。

【0058】

次いで、この基板を、例えばホットプレート等を用いて加熱して溶媒を除去した後、柱状部130の上面130a（図5参照）を露出させる。柱状部130の上面を露出させる方法としては、CMP法、ドライエッチング法、ウエットエッチング法などが利用できる。その後、前記樹脂前駆体層を約350℃の炉内にてイミド化させることで、絶縁層106が形成される。なお、イミド化工程を経てほぼ完全に硬化させた絶縁層をエッチングして、柱状部130の上面130aを露出させてもよい。

【0059】

(3) 次に、活性層108に電流を注入するための第1電極107および第2電極109、およびレーザ光の出射面108を形成する工程について説明する。

【0060】

まず、第1電極107および第2電極109を形成する前に、必要に応じて、プラズマ処理法等を用いて、柱状部130の上面を洗浄する。これにより、より安定した特性の素子を形成することができる。つづいて、例えば真空蒸着法により絶縁層106および柱状部130の上面に、例えばAuとZnの合金とAuとの積層膜（図示せず）を形成する。この場合、最表面にAu層を形成する。次いで、リフトオフ法により、柱状部130の上面に、前記積層膜が形成されていない部分を形成する。この部分が出射面108となる。なお、前記工程において、リフトオフ法のかわりに、ドライエッチング法を用いることもできる。

【0061】

また、第1電極107を形成する工程と同一の工程にて、リフトオフ法またはドライエッチング法によりパッド110を形成することができる。

【0062】

また、化合物半導体基板101の裏面に、例えば真空蒸着法により、例えばAuとGeの合金とAuとの積層膜（図示せず）を形成する。次いで、アニール処理する。アニール処理の温度は電極材料に依存する。本実施形態で用いた電極材料の場合は、通常400℃前後で行なう。

【0063】

(4) 次いで、第1電極107およびパッド110の表面を粗くする処理を行なう。これにより、第1電極107およびパッド110の表面の中心線平均粗さRaを $5.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上にする。なお、第1電極107およびパッド110の表面の中心線平均粗さRaは少なくとも、表面を粗くする処理の際に化合物半導体基板101に損傷を与えない程度に形成する。

【0064】

ここで用いる処理としては、第1電極107およびパッド110の表面にプラズマまたはイオンビームを照射する方法や、第1電極107およびパッド110の表面をウエット処理する方法等が挙げられる。図8には、一例として、第1電極107およびパッド110に対してプラズマ112を照射する場合を示す。プラズマやイオンビームを用いる場合、第1電極107およびパッド110の表面に均一かつ細かい荒れを形成することができる。また、前記ウエット処理としては、例えば、硝酸、塩酸、あるいはこれらの混酸等の強酸溶液に第1電極107およびパッド110の表面を曝す方法が挙げられる。

【0065】

10

20

30

40

50

また、必要に応じて、前述した表面処理の前に、第1電極107およびパッド110以外の部分を保護するためにレジストパターンニング等の工程を付加してもよい。

【0066】

以上のプロセスにより、図1および図2に示す面発光型発光素子100が得られる。

【0067】

(作用および効果)

本実施の形態に係る面発光型発光素子100の主な作用および効果を以下に示す。

【0068】

(1) 本実施の形態の面発光型発光素子100によれば、パッドとして第1電極107およびパッド110を含み、これらのパッドの表面の中心線平均粗さ(Ra)が、 $5.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上であることにより、これらのパッド上にパンプを形成する際に、パンプと該パッドとの接触面積を確保することができるうえ、該パッドの表面の粗さを構成する凹凸によって、該パッド上にパンプを固定させることができる。以上により、これらのパッドとパンプとの密着性を高めることができる。したがって、パンプ形成時にこれらのパッドに加わる負荷を少なくすることができる結果、化合物半導体基板101に加わる負荷を緩和することができる。

【0069】

また、このパッドの表面の凹凸は、パンプ表面の極薄自然酸化膜や有機系付着物等を突き破って、パンプをパッドに密着させる機能を有すると推測される。これにより、本実施の形態のように、パッドが電極(第1電極107)として用いられる場合、前記パッド上に前記パンプを接続させる際、該パッドと該パンプとの密着性を高めることができるため、接触抵抗の低減を図ることができる。

【0070】

(2) パッド(第1電極107およびパッド110)の少なくとも一部が絶縁層106上に形成されている。特に、絶縁層106がスピンコート法により形成されたものである場合、一般に、この絶縁層106の上面は平坦性が高い。このような平坦性が高い面上にこれらのパッドを形成した場合、該パッドの上面も同様に平坦性が高いものとなる。平坦性が高いこれらのパッドの表面にパンプを形成した場合、パンプと該パッドとの接触面積が十分確保されず、パンプと該パッドとの密着性が十分でないため、パンプと該パッドとの接合に大きな負荷が必要となる場合がある。この場合、化合物半導体基板101に大きな負荷が印加される結果、化合物半導体基板101に大きな損傷が加わる場合がある。

【0071】

これに対し、本実施の形態の面発光型発光素子100によれば、前記パッドの表面の中心線平均粗さ(Ra)が、 $5.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上であることにより、絶縁層106上に形成されたパッド上にこれらのパンプを形成する場合であっても、パンプと該パッドとの接触面積を確保することができる。かつ、該パッドの表面の粗さを構成する凹凸によって、該パッド上にパンプを固定させることができる。以上により、パンプとこれらのパッドとの密着性を高めることができる。

【0072】

(3) 本実施の形態の面発光型発光素子100の製造方法によれば、第1電極107およびパッド110の表面にプラズマまたはイオンビームを照射したり、第1電極107およびパッド110の表面をウェット処理することにより、第1電極107およびパッド110の表面処理を行なう。したがって、CMP法等の機械的手段を用いる場合と異なり、化合物半導体基板101に損傷を与えることなく、第1電極107およびパッド110の表面を粗くすることができる。

【0073】

また、本実施の形態においては、面発光型発光素子100が面発光型半導体レーザーである場合について説明したが、本発明は、面発光型半導体レーザー以外の発光素子にも適用可能である。本発明を適用できる面発光型発光素子としては、例えば、半導体発光ダイオードなどが挙げられる。

10

20

30

40

50

【0074】

〔第2の実施の形態〕

(デバイスの構造)

図9は、本発明を適用した第2の実施の形態に係る面発光型発光素子200を模式的に示す断面図である。図10は、本発明を適用した第2の実施の形態に係る面発光型発光素子200を模式的に示す平面図である。図9は、図10のA-A線における断面を示す図である。なお、本実施の形態においては、第1の実施の形態と同様に、面発光型発光素子として面発光型半導体レーザを用いた場合について説明する。

【0075】

本実施の形態に係る面発光型発光素子200は、パッド110（図1参照）のかわりに、第2電極119が第1電極107とともに、化合物半導体基板101の表面101aの上方に形成されている点以外は、第1の実施の形態に係る面発光型発光素子100とほぼ同様の構造を有する。第1の実施の形態に係る面発光型発光素子100と実質的に同じ機能を有する構成要素には同一符号を付して、その詳細な説明を省略する。

10

【0076】

この面発光型発光素子200では、化合物半導体基板101の表面101aの上方に、第1電極107および第2電極119の2つのパッドが形成されている。開口部111は、図9に示すように、少なくとも下部ミラー102まで到達するように形成されている。

【0077】

第1電極107および第2電極119の表面の中心線粗さ R_a は $5.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上であることが望ましく、 $9.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上であることがより望ましい。

20

【0078】

(デバイスの製造プロセス)

第2の実施の形態に係る面発光型発光素子200は、途中の工程まで、第1の実施の形態に係る面発光型発光素子100の製造工程を用いて形成される。すなわち、前述した第1の実施の形態に係る面発光型発光素子100の製造工程において、共振器140の上に絶縁層106を形成した後（図6参照）、絶縁層106に開口部111（図9参照）を形成する。開口部111の形成方法としては、ウエットエッチング法やドライエッチング法等が例示できる。必要に応じて、開口部111の底面に相当する下部ミラー102の露出面をエッチングしてもよい。

30

【0079】

次いで、第1の実施の形態と同様に第1電極107を形成する。さらに、開口部111の底面から絶縁層106の上面にかけて第2電極119を形成する。第2電極119は、第1の実施の形態の半導体装置100の第2電極109を形成するための材料と同様の材料を用いることができる。また、本実施の形態において、第2電極119を形成する場合、例えばリフトオフ法を用いて、開口部111の底面に相当する下部ミラー102の露出面から絶縁層106の上面に至るまでをカバーするようにパターニングを行なう。この後、第1の実施の形態の半導体装置100の製造工程と同様に、第1電極107および第2電極119の表面を粗くする処理を行なう。以上の工程により、第2の実施の形態の半導体装置200を形成することができる。

40

【0080】

(デバイスの動作および作用効果)

本実施の形態の面発光型発光素子200の動作は、第1の実施の形態の面発光型発光素子100と基本的に同様であるため、説明は省略する。

【0081】

また、本実施の形態に係る面発光型発光素子200およびその製造方法は、第1の実施の形態に係る面発光型発光素子100およびその製造方法と実質的に同じ作用および効果を有する。

【0082】

さらに、本実施の形態に係る面発光型発光素子200では、第1電極107と第2電極1

50

19とがいずれも、化合物半導体基板101の表面101aの上方に形成されている。これにより、第1電極107および第2電極119の上にパンプを介して駆動素子等を実装することができる。これにより、ワイヤ等を介さずに素子を駆動させることができる。いわゆるフェイスダウン構造の実装を達成することができる。また、第1電極107および第2電極119は、同一面上に形成されている。このように、同一面上に複数のパッドが形成されていることにより、安定した実装が可能になる。

【0083】

〔第3の実施の形態〕

（デバイスの構造）

図11は、本発明を適用した第3の実施の形態に係る面発光型発光素子300を模式的に示す断面図である。図12は、本発明を適用した第3の実施の形態に係る面発光型発光素子300を模式的に示す平面図である。図11は、図12のA-A線における断面を示す図である。なお、本実施の形態においては、第1および第2の実施の形態と同様に、面発光型発光素子として面発光型半導体レーザを用いた場合について説明する。

【0084】

本実施の形態に係る面発光型発光素子300は、柱状部113の上面からではなく、化合物半導体基板101の裏面101bから光が出射する点で、第1および第2の実施の形態に係る面発光型発光素子100、200と異なる。

【0085】

なお、本実施の形態に係る面発光型発光素子300において、ここで指摘する点以外については、第2の実施の形態に係る面発光型発光素子100とほぼ同様の構造を有する。第2の実施の形態に係る面発光型発光素子200と実質的に同じ機能を有する構成要素には同一符号を付して、その詳細な説明を省略する。

【0086】

この面発光型発光素子300に含まれる活性層103は、第1の実施の形態の欄で説明したように、AlGaAs系の材料で形成されている。この活性層103によって得られるレーザ光の発振波長は770～870nmであり、この波長帯の光は、GaAs基板からなる化合物半導体基板101により吸収されてしまう。このため、化合物半導体基板101には、化合物半導体基板101の裏面101bからレーザ光を取り出すための開口部113が形成されている。なお、開口部113を設けるかわりに、例えば、化合物半導体基板101そのものをCMP法等により薄膜化する方法や、GaAs基板ではなく例えばAlGaAs基板等のようにどの波長帯の光も吸収しない基板を用いて化合物半導体基板101を形成する方法により、化合物半導体基板101の裏面101bからレーザ光を出射させることができる。また、活性層にInGaAs系材料またはGaInNAS系材料を用いることにより、発振波長が900nm以上のレーザ光を発生させる場合、GaAs基板はこの波長帯域の光を吸収しない。したがって、この場合において、GaAs基板からなる化合物半導体基板101を用いて面発光型発光素子を形成する場合、化合物半導体基板101の裏面を加工する必要はない。

【0087】

この面発光型発光素子300では、第1電極117は、柱状部130の上面全体を覆うように形成されている。一方、第2電極119は、第2の実施の形態に係る面発光型発光素子200と同様に、化合物半導体基板101の表面101aの上方に形成されている。

【0088】

また、この面発光型発光素子300では、化合物半導体基板101の表面101aの上方に、第1電極117および第2電極119の2つのパッドが形成されている。開口部111は、図11に示すように、少なくとも下部ミラー102まで到達するように形成されている。

【0089】

第1電極117および第2電極119の表面の中心線粗さRaは $5.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上であることが望ましく、 $9.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上であることがより望ましい。

10

20

30

40

50

【0090】

(デバイスの製造プロセス)

第3の実施の形態に係る面発光型発光素子300は、化合物半導体基板101の裏面101bに開口部113を形成する点、および柱状部130の上面を全て覆うようにパターンニングして第1電極117を形成する点以外は、第2の実施の形態の面発光型発光素子200の製造工程と同様の製造工程を用いて形成される。開口部113は、第1および第2電極117、119を設置する前、あるいは後に、例えばウエットエッチング法を用いて形成することができる。

【0091】

(デバイスの動作および作用効果)

本実施の形態の面発光型発光素子300の動作は、化合物半導体基板101に設けられた開口部113の底面(出射面308)から、図11に示す一方向へと光が出射する点を除いて、第1の実施の形態の面発光型発光素子100と基本的に同様である。このため、詳細な説明は省略する。

【0092】

また、本実施の形態に係る面発光型発光素子300およびその製造方法は、第2の実施の形態に係る面発光型発光素子200およびその製造方法と実質的に同じ作用および効果を有する。さらに、本実施の形態に係る面発光型発光素子300においては、第1および第2電極117、119の上にパンプを形成し、該パンプを介して、例えばSi基板からなるIC基板やガラス基板等の他の基板と接合することができる。この場合、パンプが形成される面と反対側の面(本実施の形態においては出射面308)からレーザー光を取り出すことができる。これにより、IC基板等の他の基板を、素子300から出射されるレーザー光が該他の基板を透過可能か否かに関わらず、素子300に接合して利用することができる。

【0093】

[第4の実施の形態]

(デバイスの構造)

図13は、本発明を適用した第4の実施の形態に係る面発光型発光素子400を模式的に示す断面図である。図14は、本発明を適用した第4の実施の形態に係る面発光型発光素子400を模式的に示す平面図である。図13は、図14のB-B線における断面を示す図である。なお、本実施の形態においては、面発光型発光素子として半導体発光ダイオードを用いた場合について説明する。

【0094】

この実施の形態の面発光型発光素子400は、図13に示すように、例えばn型GaAs基板からなる化合物半導体基板401と、化合物半導体基板401上に形成された発光素子部432とを含む。この面発光型発光素子400においては、この発光素子部432によって光が発生する。

【0095】

発光素子部432は、例えば、n型GaAs基板からなる化合物半導体基板401上に形成され、n型GaAs層からなるバッファ層422、n型GaAs層からなるコンタクト層423、n型AlGaAs層からなるクラッド層424、GaAs層を少なくとも1層含み、発光層として機能する活性層425、P型AlGaAs層からなるクラッド層426、およびP型GaAs層からなるコンタクト層427が順次積層されて構成されている。

【0096】

n型GaAs層からなるコンタクト層423、不純物がドーピングされていない活性層425、およびP型GaAs層からなるコンタクト層427により、Pinダイオードが形成される。

【0097】

また、発光素子部432のうち出射面408側からコンタクト層423の途中にかけての

10

20

30

40

50

部分が、出射面408側からから見ると円形の形状にエッチングされて柱状部430が形成されている。本実施の形態においては、柱状部430とは、発光素子部432の一部を構成する柱状の半導体堆積体をいう。なお、柱状部430の平面形状は任意の形状をとることが可能である。

【0098】

絶縁層406は、柱状部430の側面ならびにコンタクト層423の上面を覆うように形成されている。したがって、柱状部430の側面は絶縁層406で取り囲まれている。

【0099】

さらに、柱状部430の上面から絶縁層406の表面にかけては、第1電極407が形成されている。柱状部430の上面には出射面408が設置されており、この出射面408から光が出射する。すなわち、柱状部430の上面のうち第1電極407で覆われていない部分が出射面408に該当する。また、絶縁層406の一部が除去されてコンタクト層423が露出しており、この露出したコンタクト層423の表面に接触する形で第2電極419が形成されている。

【0100】

絶縁層406、ならびに第1および第2電極407、419としては、前述した第1の実施の形態の面発光型発光素子100を構成する絶縁層106、ならびに第1および第2電極107、109と同様の材料を用いて形成することができる。

【0101】

第1電極407および第2電極419の表面の中心線粗さ R_a は $5.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 以上であることが望ましく、 $9.0 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ 以上であることがより望ましい。

【0102】

(デバイスの動作)

本実施の形態の面発光型発光素子400の一般的な動作を以下に示す。なお、下記LEDの駆動方法は一例であり、本発明の趣旨を逸脱しない限り、種々の変更が可能である。

【0103】

まず、第1電極407と第2電極419とで、Pinダイオードに順方向の電圧を印加すると、活性層425において、電子と正孔との再結合が起こり、係る再結合による発光が生じる。この光は、柱状部430上面にある出射面408から出射する。

【0104】

(デバイスの製造プロセス)

次に、本発明を適用した第4の実施の形態に係る面発光型発光素子400の製造方法の一例について説明する。この面発光型発光素子400は、前述の第1の実施の形態の面発光型発光素子100と類似する工程にて形成することができる。

【0105】

(1) まず、n型GaAs基板401の表面に、n型GaAs層からなるバッファ層422、n型GaAs層からなるコンタクト層423、n型AlGaAs層からなるクラッド層424、GaAs層を少なくとも1層含み、発光層として機能する活性層425、P型AlGaAs層からなるクラッド層426、およびP型GaAs層からなるコンタクト層427からなる多層膜(図示せず)を結晶成長させる。結晶成長の方法としては、MOCVD法やMBE法が例示できる。この際、n型の層を形成する際には例えばSiを、P型の層を形成する際には例えばCをそれぞれドーピングする。あるいは、n型の層を形成する際にSeを、P型の層を形成する際にはZnを用いてドーピングすることもできる。

【0106】

次いで、例えばドライエッチング法により、P型コンタクト層427からn型コンタクト層423の途中にかけてエッチングを行ない、柱状部430を形成する。

【0107】

(2) 続いて、柱状部430の周囲に絶縁層406を形成する。この絶縁層406は、第1の実施形態における絶縁層106と同様の工程にて形成することができる。なお、この工程において、第2電極419をコンタクト層423の上に形成するために、絶縁層40

10

20

30

40

50

6をコンタクト層423の一部が露出する形状に形成する。

【0108】

(3) 次いで、例えば真空蒸着法により、第1および第2電極407、419を形成する。また、この工程において、柱状部430の上面に出射面408が形成される。なお、この工程においては、リフトオフ法を用いて所望の表面形状を得ることができる。あるいは、ドライエッチング法を用いて第1および第2電極407、419を形成してもよい。これらの電極を形成後、アニール処理を行ない、オーミックコンタクトを形成する。

【0109】

(4) 第1および第2電極407、419の表面を粗くする処理を行なう。この処理は、第1の実施の形態の欄で説明した方法と同様の方法を用いることができる。この工程により、第1および第2電極407、419の表面の中心線平均粗さR_aを 5.0×10^{-3} μm以上にする。

【0110】

以上の工程により、図13および図14に示す面発光型発光素子400が得られる。

【0111】

(作用および効果)

本実施の形態に係る面発光型発光素子400およびその製造方法は、第1および第2の実施の形態に係る面発光型発光素子100、200およびその製造方法と実質的に同じ作用および効果を有するため、説明は省略する。

【0112】

[第5の実施の形態]

図15は、本発明を適用した第5の実施の形態に係る面発光型発光素子の実装構造を模式的に説明する図である。

【0113】

本実施の形態の面発光型発光素子の実装構造として、構造体1300を図15に示す。この構造体1300においては、第2の実施の形態に係る面発光型発光素子200と基板900とが、パンプ910を介して電氣的に接続されている。すなわち、面発光型発光素子200と基板900とがいわゆるフェースダウン構造を構成する。

【0114】

基板900は、面発光型発光素子200から出射した光を通過させる性質を有する材質からなる。例えば、基板900としてガラス基板を用いることができる。この基板900には、MOSFET回路等の電子回路914が搭載されている。この電子回路914は、面発光型発光素子200を駆動させるために基板900に搭載されている。基板900にはパッド918が形成され、このパッド918上にパンプ916が形成されている。具体的には、この電子回路914は、面発光型発光素子200から出射される光の伝播を妨げないような位置に形成される。例えば、図15に示すように、電子回路914は、面発光型発光素子200と同様に、フリップチップボンディングによって基板900に搭載されている。すなわち、電子回路914の表面に形成されたパッド917と、基板900のパッド918とが、パンプ916を介して電氣的に接続されている。面発光型発光素子200の電極と電子回路914の電極とは配線パターン(図示せず)によって電氣的に接続されている。

【0115】

また、基板900には、面発光型発光素子200の第1および第2電極117、119に対応する位置にパッド912が予め設置されている。また、この基板900には、金属配線パターン(図示せず)が施されており、この金属配線とパッド912が電氣的に接続されている。

【0116】

面発光型発光素子200の第1および第2電極117、119は、パンプ910によって基板900のパッド912と電氣的に接続されている。

【0117】

10

20

30

40

50

また、パンプ910は、金、金合金、Pd、Al、Cu等から形成することができる。また、面発光型発光素子200の第1および第2電極117、119の最表面は金で形成されている。この場合、パンプ910は金からなるのが好ましい。このように、最表面が金で形成されている第1および第2電極117、119の上に、金からなるパンプ910が形成されていることにより、これらの電極117、119とパンプ910との密着性を高めることができる。

【0118】

構造体1300においては、電子回路914からの信号によって、パッド912を通じて、面発光型発光素子200に対して電流が注入される。この電流の注入によって、面発光型発光素子200が駆動する。その結果、出射面108からレーザ光が出射される。このレーザ光は基板900を通過して、図15に示す矢印の方向へと伝播する。

10

【0119】

〔第6の実施の形態〕

図16は、本発明を適用した第6の実施の形態に係る面発光型発光素子の実装構造を模式的に説明する図である。

【0120】

本実施の形態の面発光型発光素子の実装構造として、構造体1400を図16に示す。この構造体1400においては、第3の実施の形態に係る面発光型発光素子300と、例えばSi基板からなる基板902とが、パンプ910を介して電氣的に接続されている。すなわち、面発光型発光素子300と基板902とがいわゆるフェースダウン構造を構成する。また、レーザ光は、面発光型発光素子300の出射面308から出射される。前述した第5の実施の形態の構造体1300では、基板900は面発光型発光素子200から出射した光を通過する材質から形成されているのに対し、構造体1400においては、図16に示すように、面発光型発光素子300が基板101の裏面101bから光を出射するため、基板902の材質は特に限定されない。また、構造体1400においては、前述した第5の実施の形態の構造体1300とは異なり、基板902に電子回路914が組み込まれている。すなわち、構造体1400においては、基板902がSi基板からなる場合、電子回路1400を基板902に組み込むことができるため、電子回路を別途実装する必要がない。

20

【0121】

この他の構成は、第5の実施の形態の面発光型発光素子の実装構造と同様であるため、詳しい説明は省略する。

30

【0122】

〔第7の実施の形態〕

図17は、本発明を適用した第7の実施の形態に係る光モジュールを模式的に説明する図である。本実施の形態に係る光モジュールは、構造体1000（図17参照）を含む。この構造体1000は、第1の実施の形態に係る面発光型発光素子100（図1参照）、フラットフォーム1120、第1の光導波路1130およびアクチュエータ1150を有する。また、この構造体1000は、第2の光導波路1302を有する。第2の光導波路1302は、基板1308の一部をなす。第2の光導波路1302には、接続用光導波路1304を光学的に接続してもよい。接続用光導波路1304は、光ファイバであってもよい。また、フラットフォーム1120は、樹脂1306によって基板1308に固定されている。

40

【0123】

本実施の形態の光モジュールでは、面発光型発光素子100（出射面108・図1参照）から光が出射した後、第1および第2の光導波路1130、1302（および接続用光導波路1304）を通して、受光素子（図示せず）にこの光が受光される。

【0124】

〔第8の実施の形態〕

図18は、本発明を適用した第8の実施の形態に係る光伝達装置を説明する図である。本

50

実施の形態では、第1の光導波路1130と受光素子210との間に、複数の第3の光導波路1230、1310、1312を有する。また、本実施の形態に係る光伝達装置は、複数(2つ)の基板1314、1316を有する。

【0125】

本実施の形態では、面発光型発光素子100側の構成(面発光型発光素子100、フラットフォーム1120、第1の光導波路1130、第2の光導波路1318、アクチュエータ1150を含む。)と、受光素子210側の構成(受光素子210、フラットフォーム1220、第3の光導波路1230、1310を含む。)との間に、第3の光導波路1312が配置されている。第3の光導波路1312として、光ファイバなどを使用して、複数の電子機器間の光伝達を行なうことができる。

10

【0126】

例えば、図19において、光伝達装置1100は、コンピュータ、ディスプレイ、記憶装置、プリンタ等の電子機器1102を相互に接続するものである。電子機器1102は、情報通信機器であってもよい。光伝達装置1100は、光ファイバ等の第3の光導波路1312を含むケーブル1104を有する。光伝達装置1100は、ケーブル1104の両端にプラグ1106が設けられたものであってもよい。それぞれのプラグ1106内に、面発光型発光素子100、受光素子210側の構成が設けられる。いずれかの電子機器1102から出力された電気信号は、発光素子によって光信号に変換され、光信号はケーブル1104を伝わり、受光素子によって電気信号に変換される。電気信号は、他の電子機器1102に入力される。こうして、本実施の形態に係る光伝達装置1100によれば、光信号によって、電子機器1102の情報伝達を行なうことができる。

20

【0127】

図20は、本発明を適用した実施の形態に係る光伝達装置の使用形態を示す図である。光伝達装置1110は、電子機器1112間を接続する。電子機器1112として、液晶表示モニター又はデジタル対応のCRT(金融、通信販売、医療、教育の分野で使用されることがある。)、液晶プロジェクタ、プラズマディスプレイパネル(PDP)、デジタルTV、小売店のレジ(POS(Point of Sale Scanning)用)、ビデオ、チューナー、ゲーム装置、プリンタ等が挙げられる。

【0128】

なお、図19および図20に示す光伝達装置において、面発光型発光素子100のかわりに、面発光型発光素子200(図9参照)、300(図11参照)、400(図13参照)を用いた場合でも、同様の作用および効果を奏することができる。

30

【0129】

〔第9の実施の形態〕

図21は、本発明を適用した第9の実施の形態に係る光モジュールを模式的に説明する図である。本実施の形態に係る光モジュールは、構造体1001(図21参照)を含む。この構造体1001は、第2の実施の形態に係る面発光型発光素子200(図1参照)、フラットフォーム1120、第1の光導波路1130およびアクチュエータ1150を有する。また、この構造体1001は、第5の実施の形態の構造体1300と同様の構成を含む。すなわち、面発光型発光素子200は、パンプ910を介して、例えばガラス等からなる基板900上に設置されている。この基板900にはさらに、駆動用IC1114が設置されている。この他の構成は、第7の実施の形態の光モジュールとほぼ同様であるため、詳しい説明は省略する。

40

【0130】

本実施の形態の光モジュールでは、面発光型発光素子200(出射面108・図9参照)から光が出射した後、基板900を通過してから第1の光導波路1130へと入射し、さらに第2の光導波路1302(および接続用光導波路1304)を通して、受光素子(図示せず)にこの光が受光される。

【0131】

図22に、図21に示す構造体1001を適用した光伝達装置を示す。図22に示す光伝

50

達装置では、第8の実施の形態に係る光伝達装置（図18参照）と同様に、第1の光導波路1130と受光素子210との間に、複数の第3の光導波路1230、1310、1312を有し、複数（2つ）の基板1314、1316を有する。なお、図22に示す光伝達装置は、図18に示す光伝達装置と同様の作用効果を有するため、詳しい説明は省略する。

【0132】

〔第10の実施の形態〕

図23は、本発明を適用した第10の実施の形態に係る光伝達装置を説明する図である。本実施の形態では、光伝達装置がICチップ間光インターコネクション装置2000である場合を例にとり説明する。

【0133】

（デバイスの構造）

本実施の形態の光インターコネクション装置2000は、複数のICチップが積層されて形成されている。本実施の形態の光インターコネクション装置2000では、図23に示すように、ICチップが2つ積層されている例を示したが、積層されるICチップの数はこれに限定されるわけではない。

【0134】

この光インターコネクション装置2000は、積層されたICチップ501、502間でレーザ光521、522が伝送され、データのやり取りが行われる。ICチップ501、502はそれぞれ、基板（例えばシリコン基板）511、512と、この基板511、512にそれぞれ形成されたIC領域531、532とを含む。ICチップ501、502としては、CPUやメモリ、ASICなどの各種のICが例示できる。

【0135】

ICチップ501においては、基板511上に、第1の実施の形態に係る面発光型発光素子100および光検出器541が設置されている。同様に、ICチップ502においては、基板512上に、第3の実施の形態に係る面発光型発光素子300および光検出器542が設置されている。なお、本実施の形態においては、第1の実施の形態に係る面発光型発光素子100を基板511に設置し、第3の実施の形態に係る面発光型発光素子300を基板512上に設置した場合について示したが、面発光型発光素子100、300の一方および両方について、第2および第4の面発光型発光素子200、400をかわりに設置することもできる。

【0136】

（デバイスの動作）

次に、この光インターコネクション装置2000の動作について、図23を参照して説明する。

【0137】

この光インターコネクション装置2000において、ICチップ501のIC領域531で電気的に処理された信号は、面発光型発光素子100の共振器130（図1参照；図23では図示せず）でレーザ光パルス信号に変換された後、ICチップ502の光検出器542へと送られる。光検出器542は、受信したレーザ光パルスを電気信号へと変換してIC領域532へ送る。

【0138】

一方、ICチップ502に形成された面発光型発光素子300から光検出器541へとレーザ光を送る場合も同様に動作する。すなわち、この光インターコネクション装置2000において、ICチップ502のIC領域532で電気的に処理された信号は、面発光型発光素子300の共振器130（図13参照；図23では図示せず）でレーザ光パルス信号に変換された後、ICチップ501の光検出器541へと送られる。光検出器541は、受信したレーザ光パルスを電気信号へと変換してIC領域531へ送る。こうしてICチップ501、502はレーザ光を介してデータのやり取りを行なう。

【0139】

10

20

30

40

50

なお、基板511、512がシリコン基板からなる場合、面発光型発光素子100～300の共振器の発振波長または面発光型発光素子400の発光波長を $1.1\mu\text{m}$ 以上にすることにより、面発光型発光素子から出射する光が基板（シリコン基板）511、512を通過することができる。

【0140】

ところで、処理速度の高速化および高周波化に伴い、電氣的接続によるICチップ間の信号伝送においては一般に、次のような課題が生じるようになる。

- ・配線間の信号伝達タイミングのズレ（スキュー）が発生する
- ・高周波電気信号の伝送における消費電力が増大する
- ・配線レイアウトの設計が困難になる
- ・インピーダンスのマッチングが必要となる
- ・アースノイズ遮断対策が必要となる

10

これに対して、本実施の形態の光インターコネクション装置2000のように、ICチップ間の信号伝送を光信号で行なうことにより、上記課題を解決することができる。

【0141】

本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、本発明は、実施の形態で説明した構成と実質的に同一の構成（例えば、機能、方法および結果が同一の構成、あるいは目的および結果が同一の構成）を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成の本質的でない部分を置き換えた構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成と同一の作用効果を奏する構成又は同一の目的を達成することのできる構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成に公知技術を付加した構成を含む。

20

【0142】

例えば、上記実施の形態では、柱状部を一つ有する面発光型発光素子について説明したが、基板面内で柱状部が複数個設けられていても本発明の形態は損なわれない。また、複数の面発光型発光素子がアレイ化されている場合でも、同様の作用および効果を有する。

【0143】

また、例えば、上記実施の形態において、各半導体層におけるP型とn型とを入れ替えても本発明の趣旨を逸脱するものではない。上記実施の形態では、AlGaAs系のものについて説明したが、発振波長に応じてその他の材料系、例えば、GaInP系、 ΣnSs e系、InGa Σ N系、AlGa Σ N系、InGaAs系、GaInNAs系、GaAs Σ sb系の半導体材料を用いることも可能である。

30

【0144】

さらに、上記実施形態では、化合物半導体基板としてGaAs基板を用いた場合を示したが、他の基板、例えば、GaN基板、AlN基板、InP基板、GaP基板、 ΣnSs e基板、 ΣnS 基板、CdTe基板、 ΣnTe 基板、CdS基板等の化合物半導体基板を用いることもできる（御確認願います）。

【0145】

〔実験例〕

次に、本発明の一実験例について説明する。本実験例では、本発明の面発光型発光素子のパッドに表面処理を行なって、中心線平均粗さ R_a を所定の値に形成した。具体的には、前述した第1の実施の形態の面発光型発光素子100の第1電極107に対して表面処理を行ない、第1電極107の表面の中心線平均粗さ R_a を表1に示す値となるように形成した。この場合において、第1電極107上に金パンプを形成した際の第1電極107と金パンプとの密着性を測定した。なお、用いた第1電極107の膜厚は 350nm であり、そのうち最表面の金層の膜厚は 200nm であった。

40

【0146】

第1電極107の表面の中心線平均粗さ R_a はプラズマ照射エネルギーを変えることで調整した。また、表面処理はアルゴンを主成分としたプラズマを第1電極107の表面に照射することにより行なった。その結果を表1に示す。表1においては、パワー 50W のフ

50

ラズマを3分間照射した実験例とともに、プラズマを照射していない比較例1と、パワー10Wのプラズマを3分間照射した比較例2との実験結果を併記している。

【0147】

また、実験例、比較例1および比較例2における第1電極107の表面におけるAFM (atomic force microscope) 測定の結果を図24～図26に示す。図24は実験例(Raが $9.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ の場合)、図25は比較例1(Raが $1.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ の場合)、図26は比較例2(Raが $4.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ の場合)における、第1電極107の表面をそれぞれ示す顕微鏡写真である。また、表1の「条件1」および「条件2」それぞれにおける過重、温度および超音波出力の各条件を表2に示す。

10

【0148】

また、表1における各パラメータは、以下の通りである。

【0149】

(a) 中心線平均粗さ(Ra)

Raの定義は、課題を解決するための手段の欄で説明した通りである。なお、本実験例では、RaはJIS(B0601-1994改正)に準拠して測定および算出を行なった。

【0150】

(b) 形成歩留まり

形成歩留まりとは、第1電極107の上に金パンフを設置した場合に、第1電極107上に金パンフが良好に形成できたものの占める割合である。すなわち、「形成歩留まり(%) = 金パンフが第1電極107上に良好に形成されたサンプル数 / 全サンプル数 $\times 100$ 」である。

20

【0151】

ここで、第1電極107の上に金パンフ180を設置する方法を以下に示す。この金パンフ180は、金ワイヤ186でボールを形成した後、第1電極107上にボールボンディングし、次いで金ワイヤ186を、超音波を印加して切断することにより設置される。

【0152】

まず、図27(a)に示すように、ステージ(図示せず)上に面発光型発光素子100を設置した後、キャビラリ182を第1電極107の上方に配置する。このキャビラリ182は中央に開孔188を有し、この開孔188の先端近傍にはヒータ(図示せず)が設置されている。このヒータにより金がスパークされて球状となり、金ボール184が形成される。

30

【0153】

次いで、図27(b)に示すように、キャビラリ182によって金ボール184を第1電極107上に押圧して金ボール184を変形させる。これにより、金ボール184を第1電極107上に接合させる。

【0154】

続いて、図27(c)に示すように、キャビラリ182を動かして金ワイヤ186を破断させ、第1電極107上に金パンフ180を形成する。ここで、金ワイヤ186を破断させる際に超音波を印加すると、金ボール184と金ワイヤ186の接続部分に超音波が集中するため、金ワイヤ186の付け根で金ボール184を切断することができると。

40

【0155】

前述した金パンフ180の形成工程のうち、金ワイヤ186を破断する工程(図27(c)参照)において、超音波を印加しない場合あるいは超音波の出力が弱い場合、金ワイヤ186が途中で切れてしまったり、金ワイヤ186が切れずに金ボール184が第1電極107から剥れたりすることがある。一方、超音波の出力が大きすぎる場合、超音波によって基板にクラックが生じることがある。この原因として、面発光型発光素子100が化合物半導体基板(GaAs基板101)からなり、化合物半導体基板の強度が、シリコン基板やサファイア基板等の他の基板の強度と比較して小さいことが挙げられる。したがって、第1電極107の表面のRaの値を調整することによって、金パンフ180と第1電

50

極 107 との密着性が十分得られ、かつ基板に影響を及ぼさない程度の出力の超音波で金ワイヤ 186 を破断して、第 1 電極 107 上に金パンプ 180 を形成することができる。

【0156】

(c) シェア強度

第 1 電極 107 の上に形成された金パンプ 180 (図 27 (c) 参照) の側面から過重を徐々にかけていき、金パンプ 180 が脱離したときの過重をシェア強度とした。したがって、シェア強度が大きいほど強固な密着性を有するといえる。

【0157】

【表 1】

	Ra (μm)	形成歩留まり		シェア強度	
		条件 1	条件 2	条件 1	条件 2
実験例	9.4×10^{-3}	100%	100%	45gf	140gf
比較例 1	1.6×10^{-3}	25%	80%	37gf	51gf
比較例 2	4.1×10^{-3}	75%	88%	34gf	45gf

10

【0158】

【表 2】

形成条件	温度	過重	超音波出力
条件 1	220℃	80gf	180mW
条件 2	220℃	110gf	210mW

20

【0159】

実験例および比較例 1、2 における、第 1 電極 107 の表面の Ra と形成歩留まりとの関係を図 28 に示す。なお、図 28 において、「○」は条件 1 における値を、「△」は条件 2 における値をそれぞれ示している。図 28 によれば、条件 1 および 2 のいずれにおいても、Ra が $5.0 \mu\text{m}$ 以上である場合、ほぼ 100% の形成歩留まりが得られると推測される。

【0160】

本実験例によれば、比較例 1 および 2 では、条件 1 および条件 2 のいずれの場合においても、形成歩留まりおよびシェア強度のいずれにおいても十分な値が得られなかった。これに対し、実験例では、条件 1 および条件 2 のいずれの場合においても、形成歩留まりが良好で、かつ十分なシェア強度が得られた。

30

【0161】

また、表 1 に示す結果より、Ra が大きいほどシェア強度が大きくなり、第 1 電極 107 と金パンプ 180 との間の密着性が高くなるという結果が得られた。特に、表 1 に示す実験例の結果から、Ra が $9.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ である場合、シェア強度がさらに改善され、第 1 電極 107 と金パンプ 180 との間の密着性が非常に高いと推測される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明を適用した第 1 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す断面図である。

40

【図 2】本発明を適用した第 1 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す平面図である。

【図 3】図 1 および図 2 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 4】図 1 および図 2 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 5】図 1 および図 2 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 6】図 1 および図 2 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図であ

50

る。

【図 7】図 1 および図 2 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 8】図 1 および図 2 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 9】本発明を適用した第 2 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す断面図である。

【図 10】本発明を適用した第 2 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す平面図である。

【図 11】本発明を適用した第 3 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す断面図である。 10

【図 12】本発明を適用した第 3 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す平面図である。

【図 13】本発明を適用した第 4 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す断面図である。

【図 14】本発明を適用した第 4 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す平面図である。

【図 15】本発明を適用した第 5 の実施の形態に係る面発光型発光素子の実装構造を模式的に示す断面図である。

【図 16】本発明を適用した第 6 の実施の形態に係る面発光型発光素子の実装構造を模式的に示す断面図である。 20

【図 17】本発明を適用した第 7 の実施の形態に係る光モジュールを模式的に示す図である。

【図 18】本発明を適用した第 8 の実施の形態に係る光伝達装置を示す図である。

【図 19】本発明を適用した第 8 の実施の形態に係る光伝達装置の使用形態を示す図である。

【図 20】本発明を適用した第 8 の実施の形態に係る光伝達装置の使用形態を示す図である。

【図 21】本発明を適用した第 9 の実施の形態に係る光モジュールを模式的に示す図である。 30

【図 22】本発明を適用した第 9 の実施の形態に係る光伝達装置を示す図である。

【図 23】本発明を適用した第 10 の実施の形態に係る光伝達装置を示す図である。

【図 24】本発明を適用した一実験例におけるパッドの A F M 写真である。

【図 25】比較例 1 におけるパッドの A F M 写真である。

【図 26】比較例 2 におけるパッドの A F M 写真である。

【図 27】図 27 (a) ~ 図 27 (c) は、本発明を適用した一実験例における金パンプの形成方法を説明する図である。

【図 28】実験例および比較例 1, 2 における、第 1 電極の表面の R_a の値と、形成歩留まりの値との関係を示す図である。

【符号の説明】 40

100, 200, 300, 400 面発光型発光素子

101 化合物半導体基板

101a 半導体基板の表面

101b 半導体基板の裏面

102 下部ミラー

103, 425 活性層

104 上部ミラー

105 酸化狭窄層

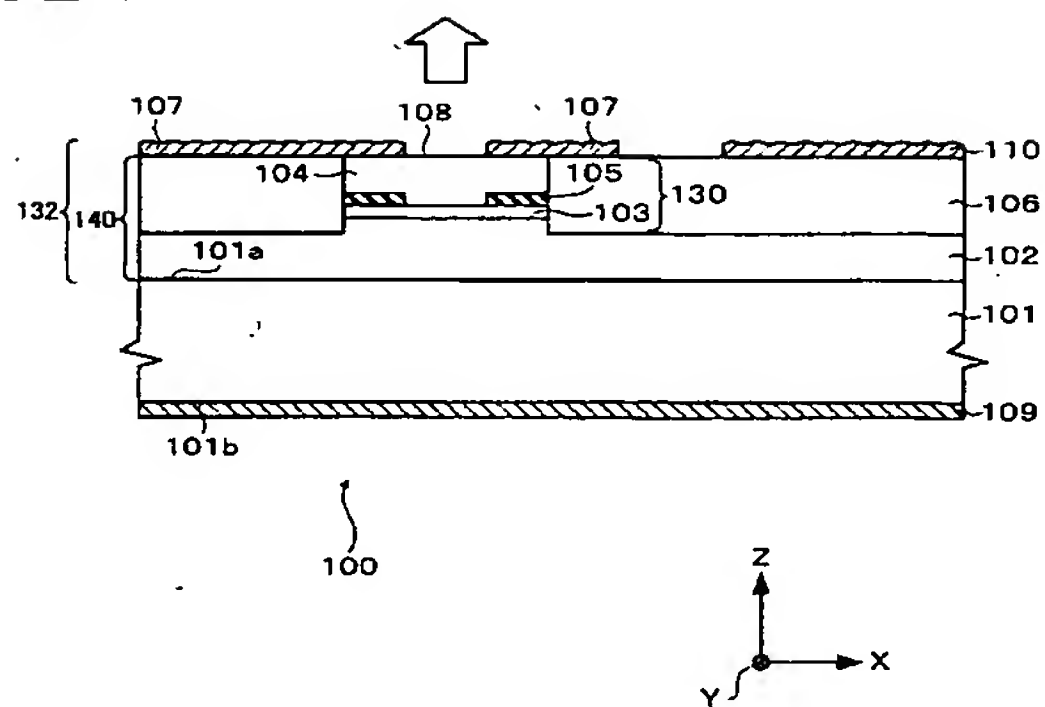
106, 406 絶縁層

107, 117, 407 第 1 電極 50

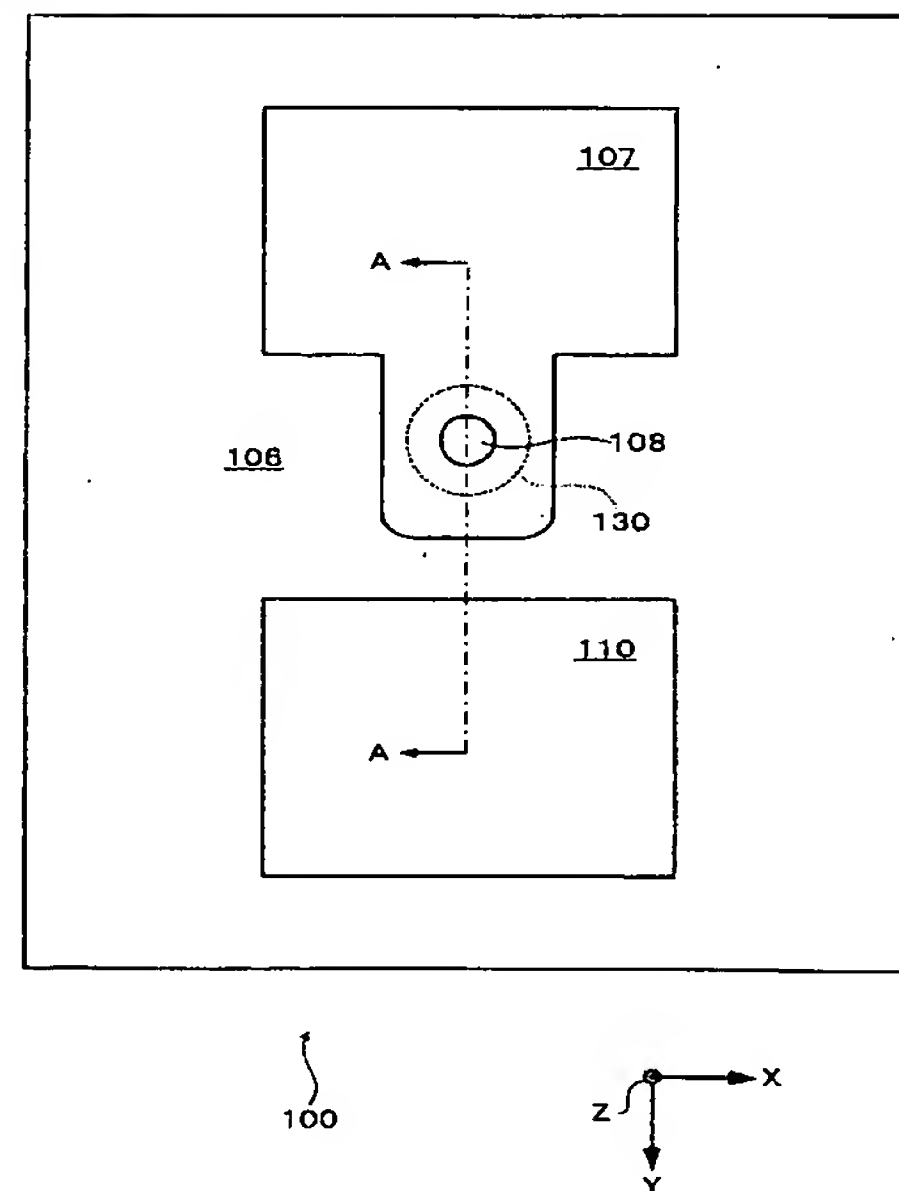
1 0 8 . 3 0 8 . 4 0 8	出射面	
1 0 9 . 1 1 9 . 4 1 9	第 2 電極	
1 1 0	パッド	
1 1 1	開口部	
1 1 2	フラズマ	
1 1 3	開口部	
1 3 0 . 4 3 0	柱状部	
1 3 0 α	柱状部 1 3 0 の上面	
1 3 2 . 2 3 2 . 3 3 2 . 4 3 2	発光素子部	
1 4 0	共振器	10
1 5 0	半導体多層膜	
1 8 0	金バンフ	
1 8 2	キャピラリ	
1 8 3	開孔	
1 8 4	金ボール	
1 8 6	金ワイヤ	
2 1 0	受光素子	
4 0 1	化合物半導体基板	
4 0 1 α	化合物半導体基板の表面	
4 0 1 b	化合物半導体基板の裏面	20
4 2 2	バッファ層	
4 2 3	コンタクト層	
4 2 4	クラッド層	
4 2 6	クラッド層	
4 2 7	コンタクト層	
5 0 1 . 5 0 2	ICチップ	
5 1 1 . 5 1 2	基板	
5 2 1 . 5 2 2	レーザー光	
5 3 1 . 5 3 2	IC領域	
5 4 1 . 5 4 2	光検出器	30
9 0 0 . 9 0 2	基板	
9 1 0 . 9 1 6	バンフ	
9 1 2 . 9 1 7 . 9 1 8	パッド	
9 1 4	電子回路	
1 0 0 0 . 1 3 0 0	構造体	
1 1 0 0 . 1 1 1 0	光伝達装置	
1 1 1 0 . 1 1 1 2	電子機器	
1 1 0 4	ケーブル	
1 1 0 6	フラグ	
1 1 1 4	駆動用 IC	40
1 1 2 0 . 1 2 2 0	フラットフォーム	
1 1 3 0	第 1 の光導波路	
1 1 5 0	アクチュエータ	
1 1 5 2	クッション	
1 1 5 4	エネルギー供給源	
1 2 3 0 . 1 3 1 0 . 1 3 1 2	第 3 の光導波路	
1 3 0 2 . 1 3 1 8	第 2 の光導波路	
1 3 0 4	接続用光導波路	
1 3 0 6	樹脂	
1 3 0 8	基板	50

1314, 1316 基板
2000 光インターコネクション装置
R100 レジスト層

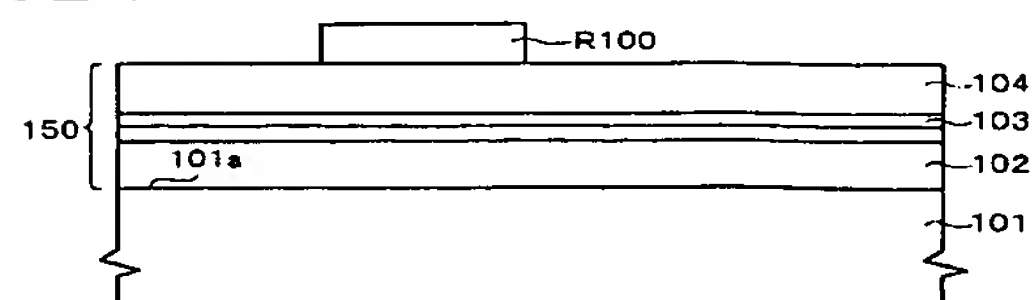
【図1】



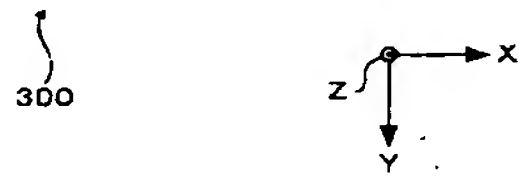
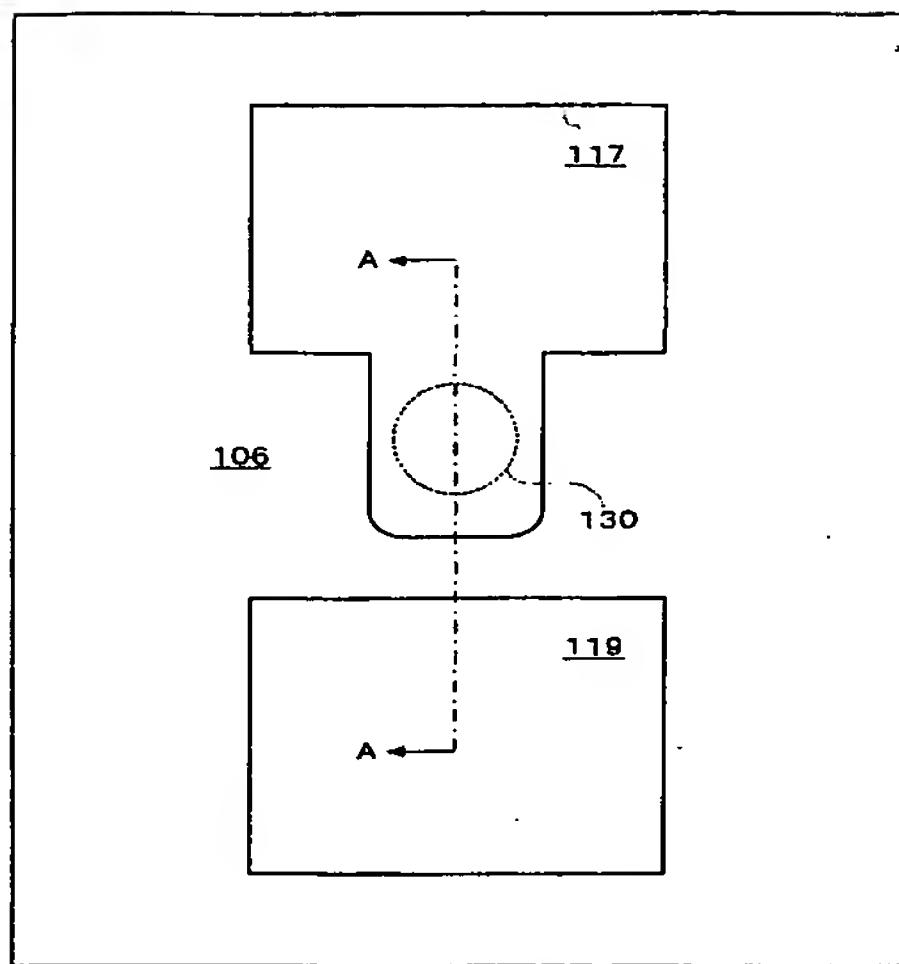
【図2】



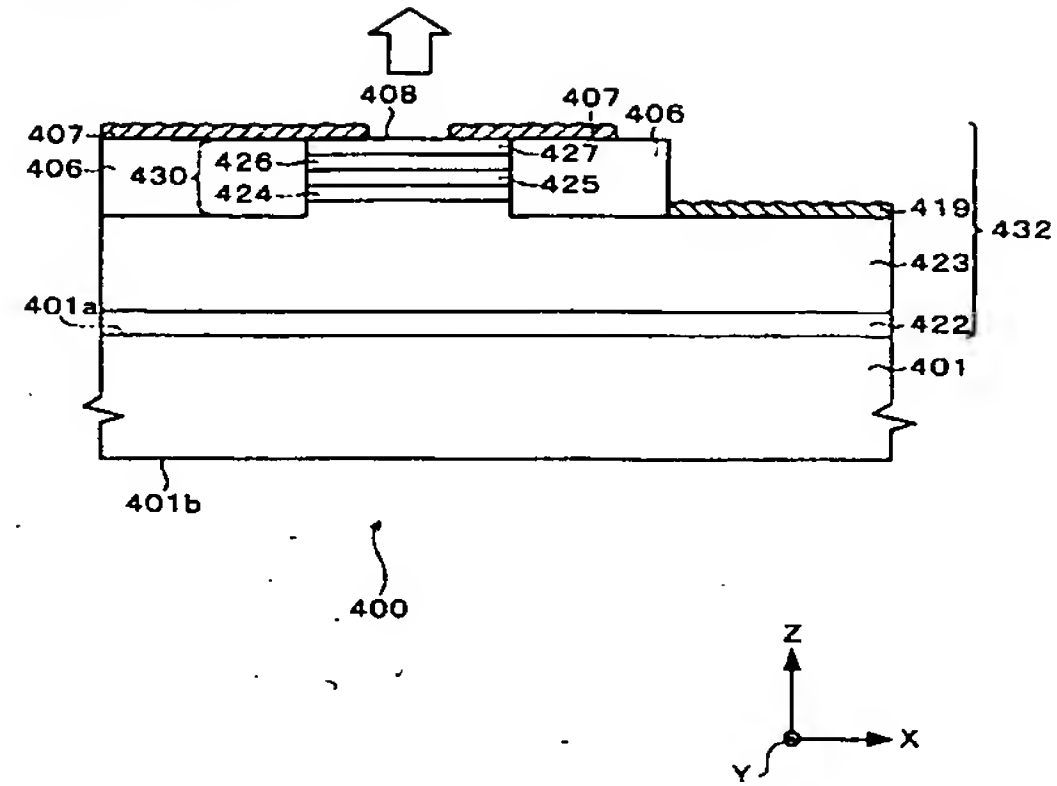
【図3】



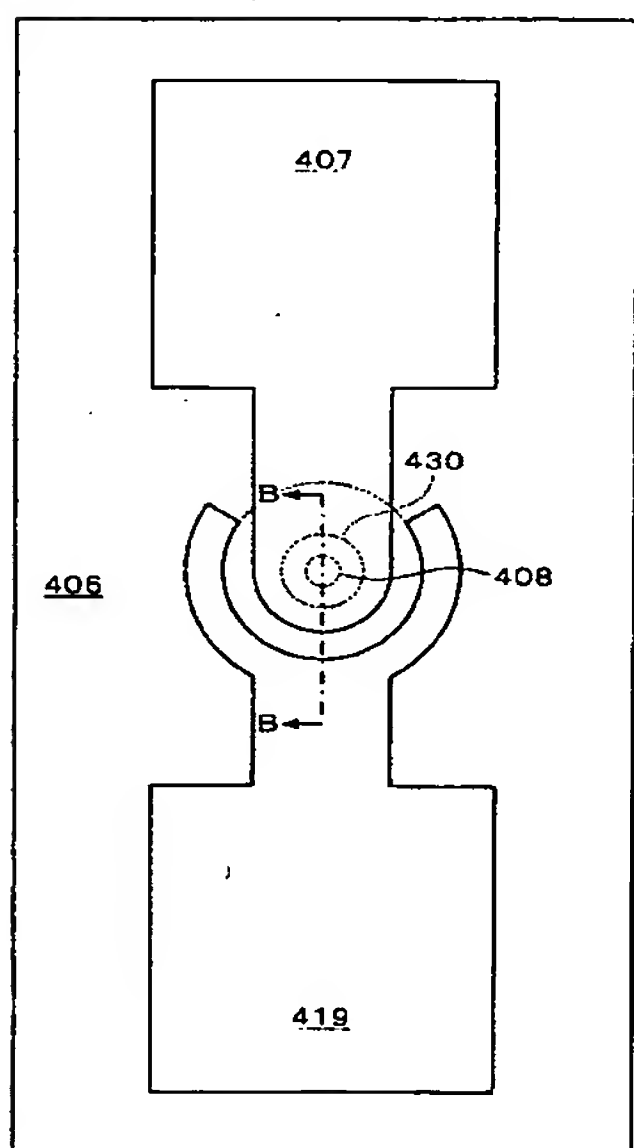
【図 1 2】



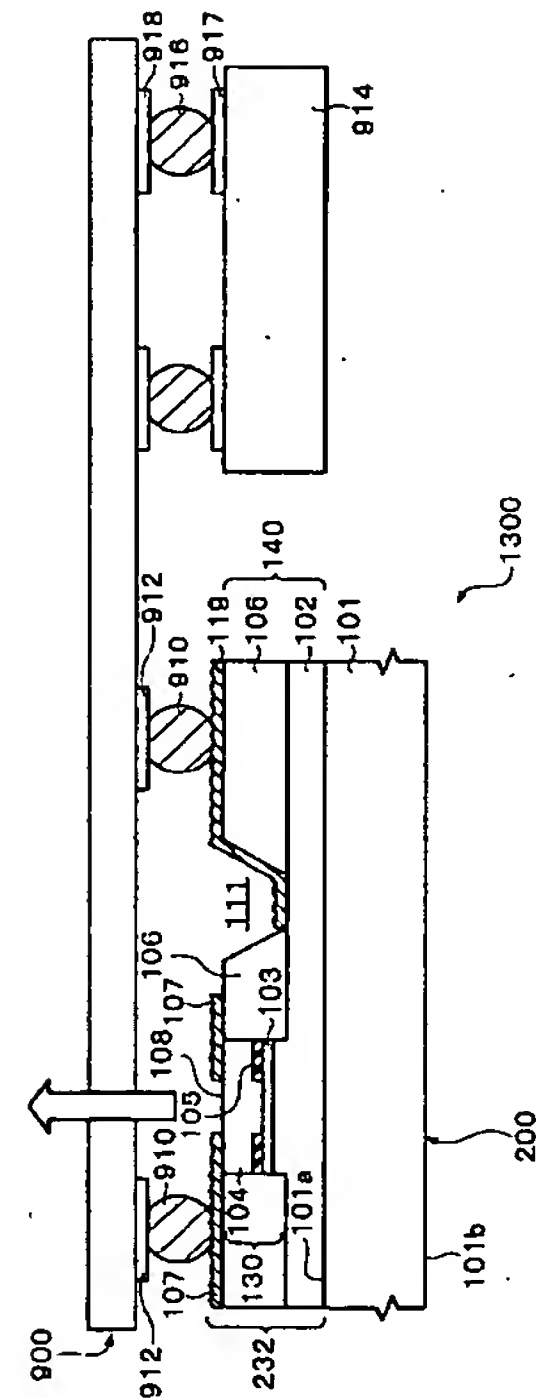
【図 1 8】



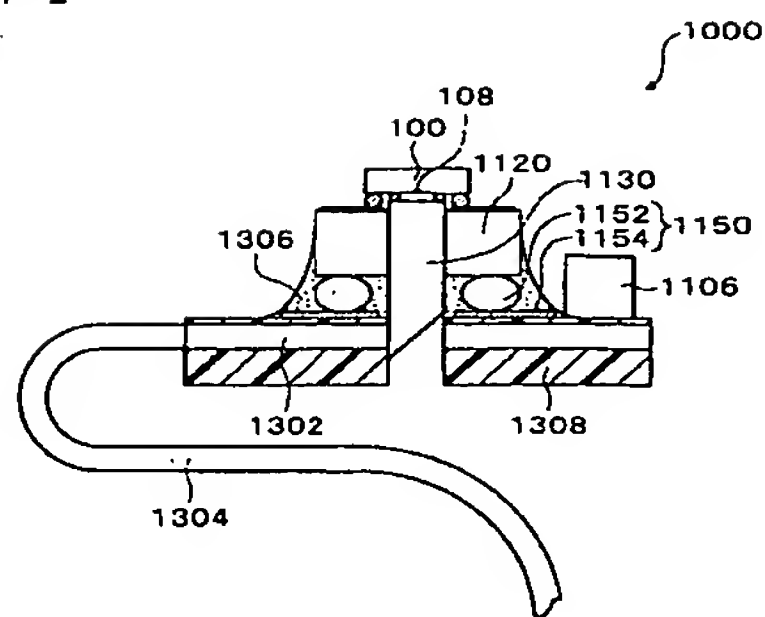
【図 1 4】



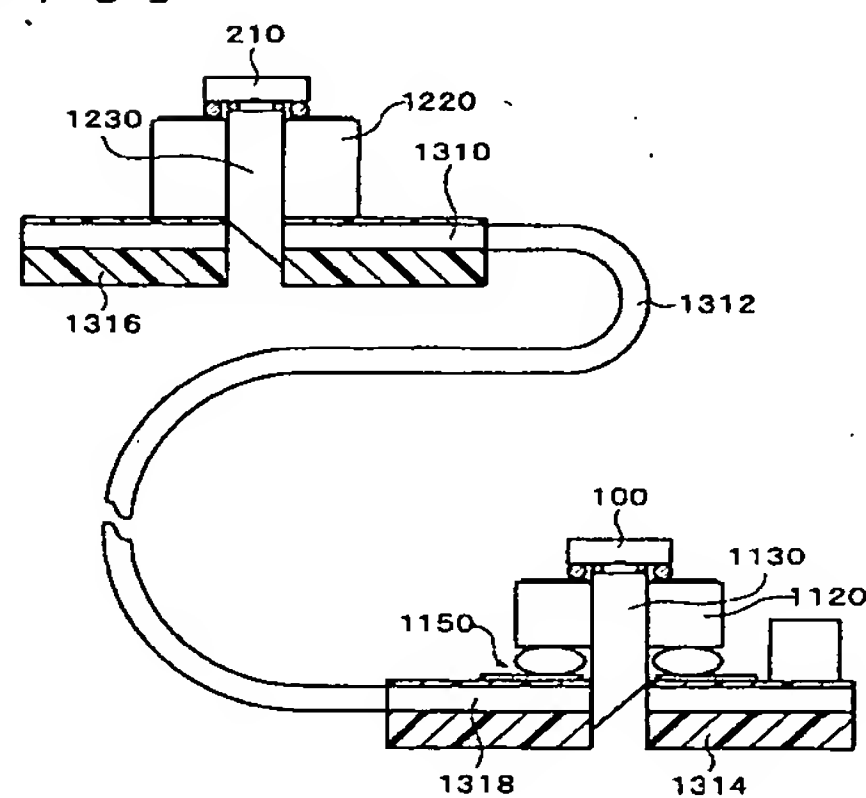
【図 1 5】



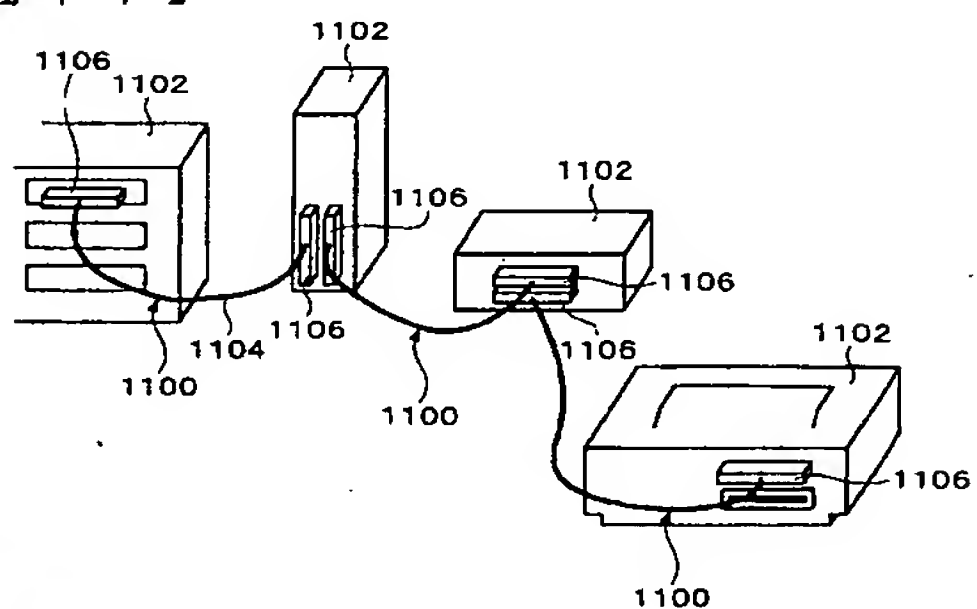
【圖 17】



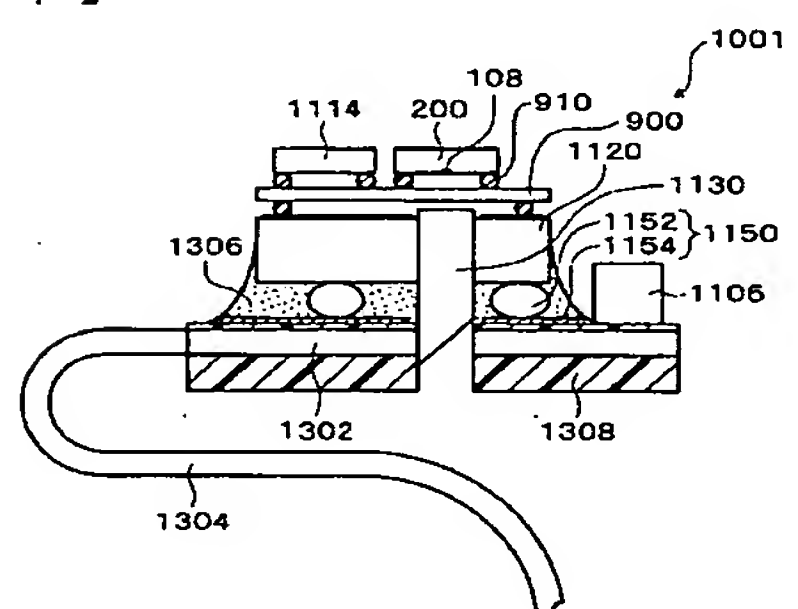
【 ㊦ 1 8 】



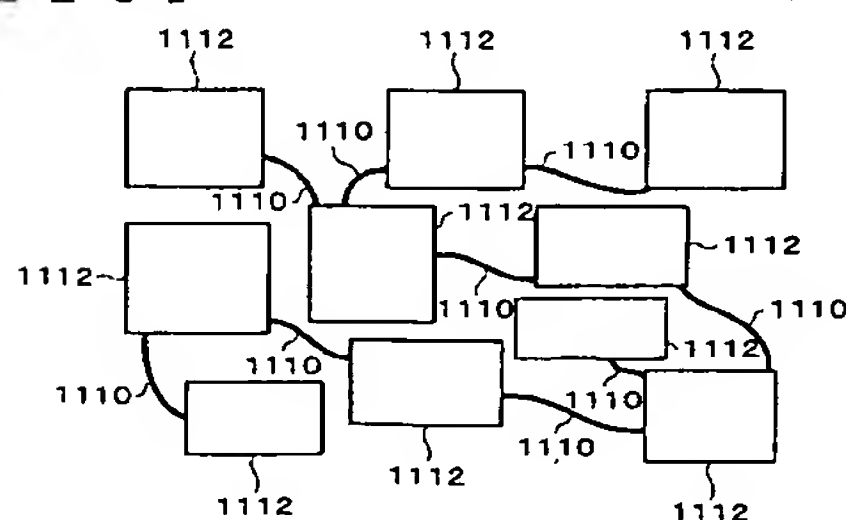
【 1 9 】



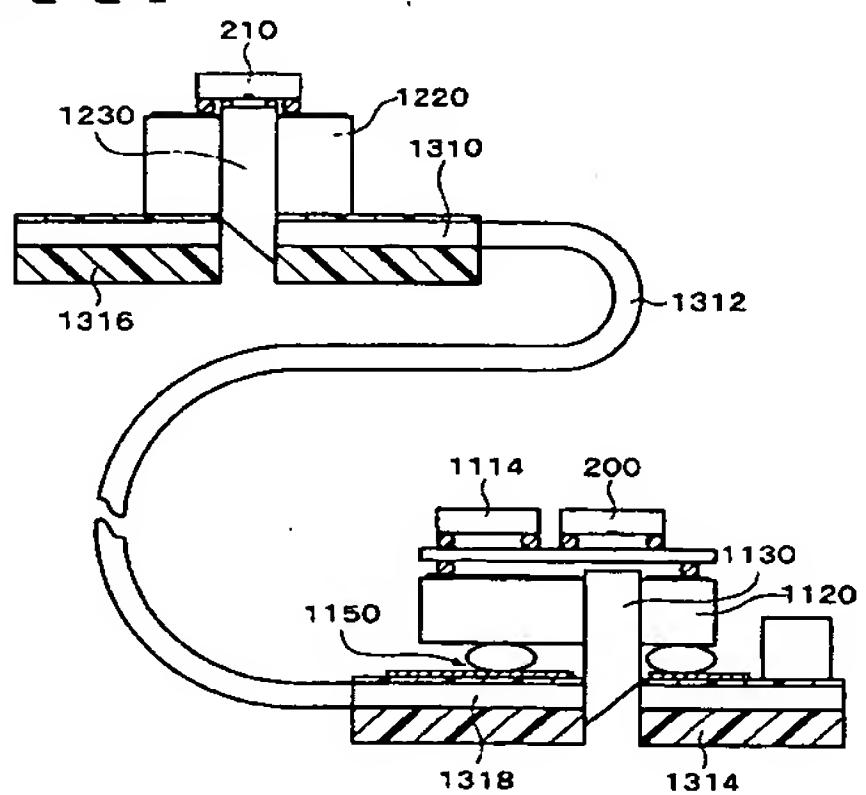
【 図 2 1 】



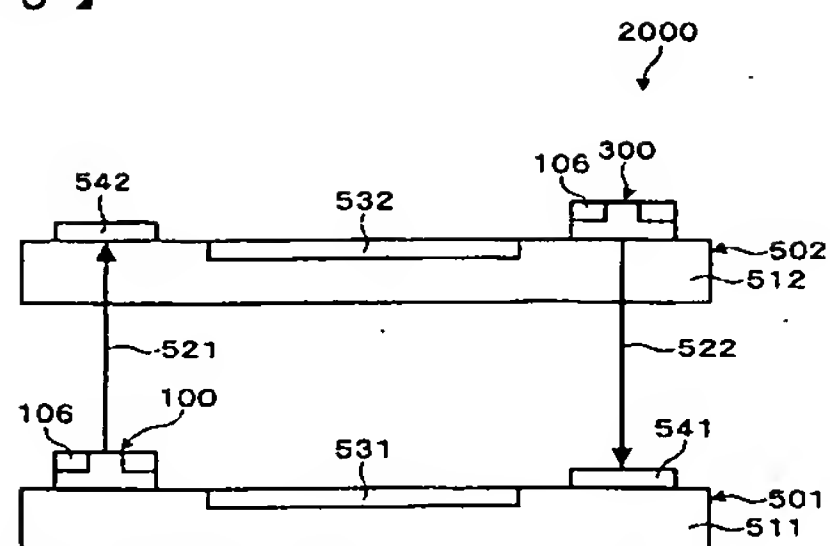
【 ㊦ 20 】



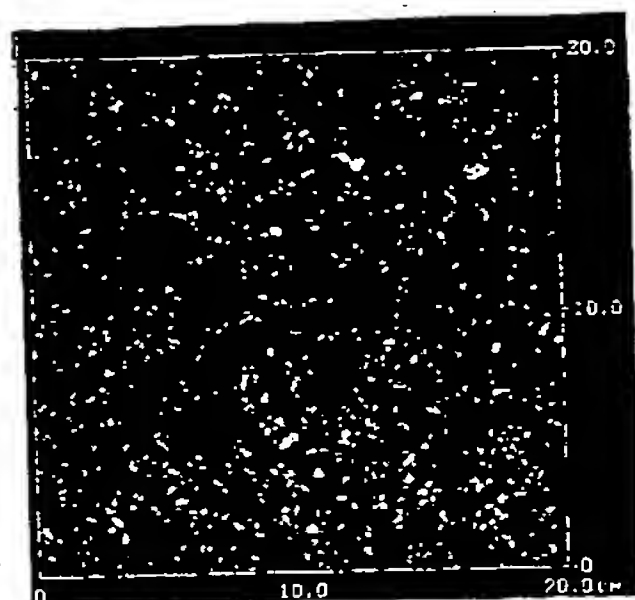
【图 22】



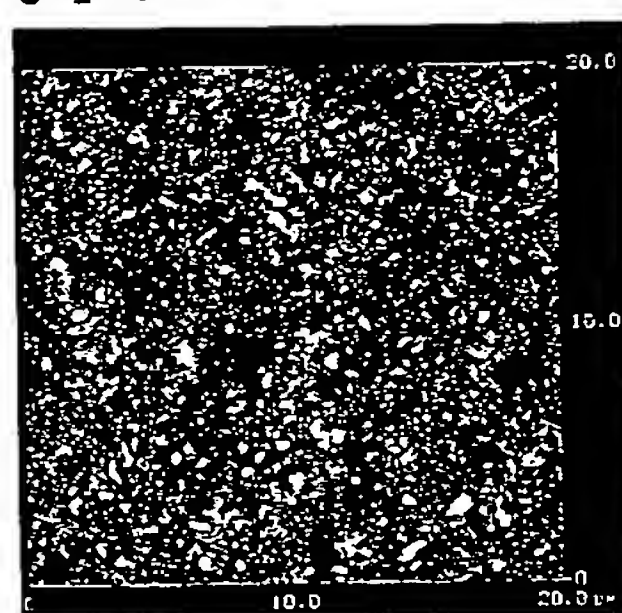
【図 23】



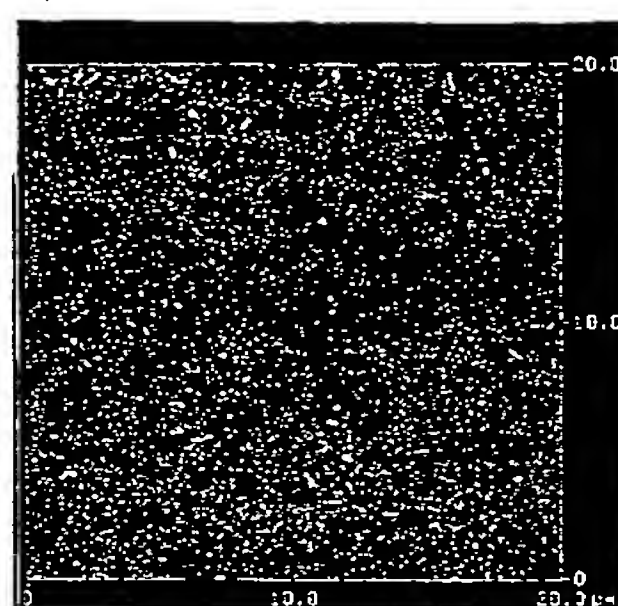
【図 24】



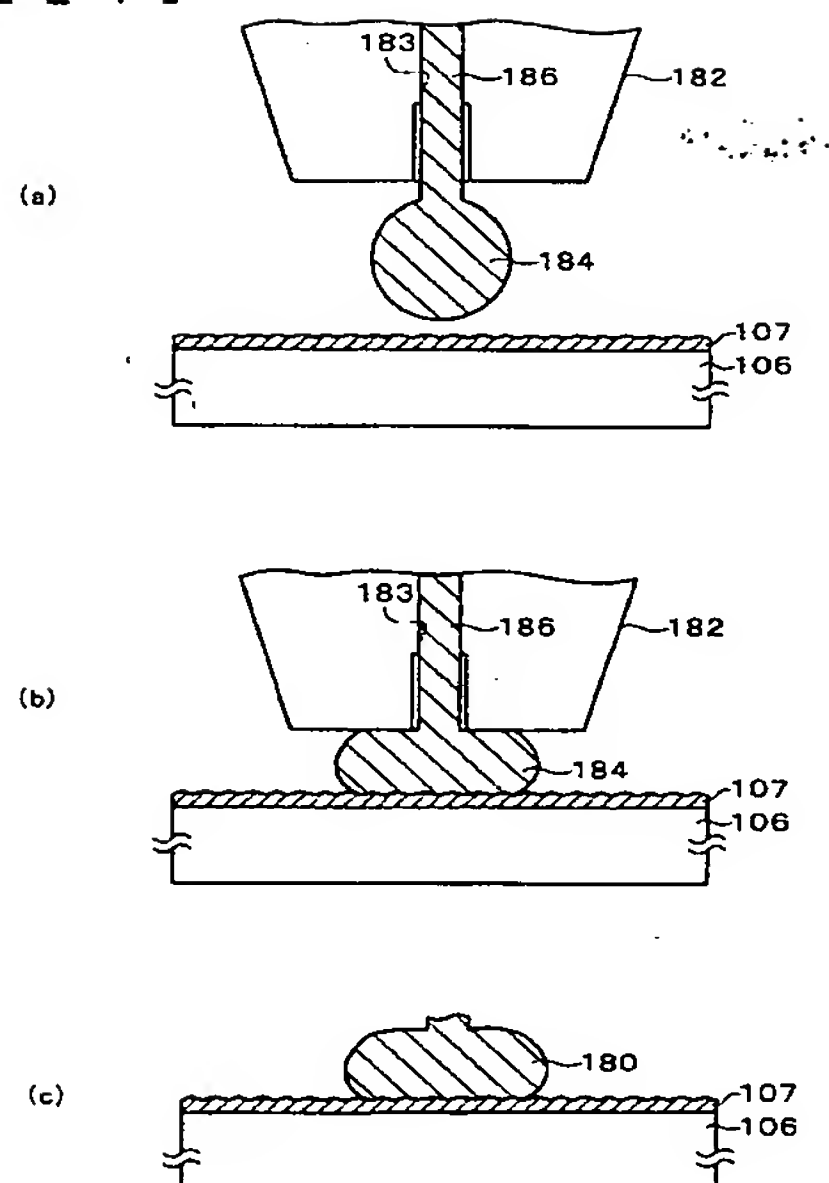
【図 25】



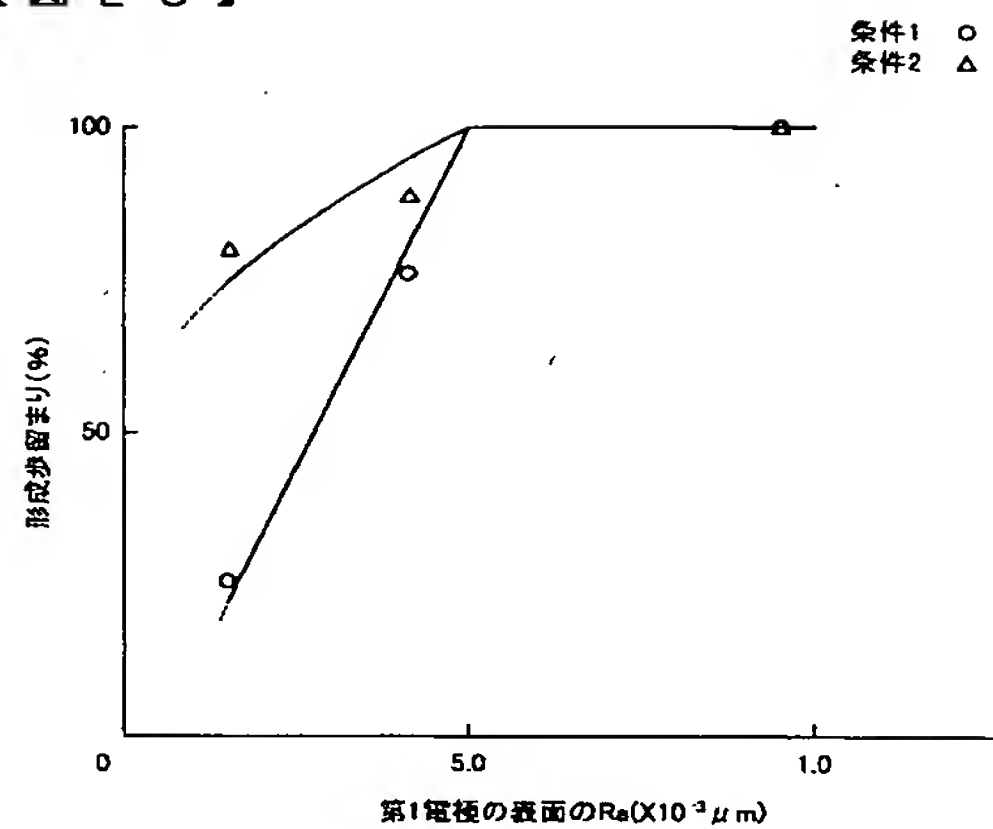
【図 26】



【図 27】



【図 28】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F041 AA41 CA04 CA05 CA12 CA35 CA36 CA45 CA65 CA74 CA77
CA85 CA98 CB15 DA04 DA09 DA19 DA20 DA83 EE01 FF14
5F073 AA74 AB17 AB21 AB28 CA05 CB05 CB22 CB23 DA27 DA30
DA35 FA06 FA15